

В.І. Магро¹, В.О. Святошенко², Д.С. Тимофєєв²

¹ Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Дніпро

² Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”, Дніпро

МЕТОД ОЦІНКИ ЧАСУ ЗАТРИМКИ В ПРОЦЕСІ ПОТОКОВОГО МОВЛЕННЯ

Розглянута задача мінімізації затримки медіаконтенту при онлайн-трансляції. Об'єктом дослідження є медіасерверні платформи, що використовуються для організації онлайн-трансляції медіаконтенту. Метою роботи є дослідження часу затримки при доставці медіаконтенту в процесі онлайн-трансляції. В процесі проведення експериментів встановлено, що найбільші витрати часу на доставку зумовлені процесом обробки потоку в медіасервері. Затримка в медіасервері виникає за рахунок перетворень сигналу. Проаналізовано найбільш поширені на ринку медіапослуг медіасервери, які дозволяють організувати онлайн-трансляцію на регіональному рівні. Це Ant Media Server 1.7.2, MistServer 2.14.1, Nimble Streamer Server 3.5.4, Red5 1.1.1, Wowza Streaming Engine 4.7. Запропоновано методику оцінки часу затримки доставки медіаконтенту в мережах потокового мовлення. Розроблена методика надає змогу визначити як загальний час затримки, так і його складові на кожному з етапів доставки.

Ключові слова: час затримки, медіасерверна платформа, онлайн-трансляція, відеоконтент, протокол.

Вступ

Постановка проблеми. Актуальним питанням, що виникає під час сучасної організації онлайн-трансляцій, є можливість мінімізації затримки передачі відеозображення при збереженні його високої візуальної якості. Здебільшого ця потреба обумовлена вимогами при організації медичних операцій за допомогою телемедицини, при відео спостереженні за важливими віддаленими об'єктами.

Більшість телекомунікаційних систем працюють за принципом “клієнт-сервер”. Це передбачає наступний ланцюг передачі даних: камера – кодувальний пристрій – медіасервер – декодер – кінцевий користувач (один чи декілька пристроїв відеозображення). На затримку передачі, яку вносить камера чи кінцевий пристрій, майже не можна вплинути, адже вона залежить від технічних можливостей цих пристроїв. Затримка в обох випадках менша за 1мс, отже нею можна знехтувати. Більш суттєвіша затримка виникає під час кодування відеосигналу та передачі його через медіасервер до кінцевого користувача. Цю затримку можна мінімізувати, однак, у більшості випадків, така мінімізація погіршує якість відеозображення.

Зазвичай медіасерверні платформи використовують пропріетарне програмне забезпечення, тому порівняння їх характеристик майже відсутнє.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянемо основні підходи, які спрямовані на мінімізацію часу затримки при онлайн-трансляції [1].

Першу групу умовно можна назвати “апаратні методи”. Зазвичай дані методи використовуються для сталих широковживаних рішень, таких як кодування, транскодування, пакетування. Ресурсоємні операції призводять до виникнення затримок при

онлайн-трансляції. Інфраструктура системи потокової медіатрансляції містить три складові: серверна частина, мережа передачі даних та кінцеві системи формування/відображення контенту. Недоліком таких методів є обмеженість впливу учасників процесу трансляції на кожен з цих складових.

До групи “програмні методи” можна віднести такі технічні рішення: оптимальне використання смуги пропускання [2–4], адаптивне розподілення контенту [5], управління буферизацією в різних сегментах системи доставки [6–11] та інші. Дані методи широко застосовуються для зменшення часу затримки, тому розглянемо їх детальніше.

В роботах [6–8] пропонується застосовувати спеціальний контролер для регулювання бітрейту та недопущення втрати кадрів при онлайн-трансляції. Іншим напрямком є управління буфером. Оптимальне використання смуги пропускання та ресурсів буферу реалізується із застосуванням алгоритмів розподілення швидкості доставки з використанням мережного кодування в іменованих мережах даних (NDN) [2].

В роботі [9] запропонований алгоритм оптимізації управління кешуванням відеоконтенту, орієнтований на прогноз його популярності. Оптимізація розподіленого кешування контенту та архітектури системи реплікації дозволяє підвищити енергоефективність роботи та зменшити витрати на реплікацію в мережах, де здійснюється обробка багатопотокового відеоконтенту [10–12].

В роботі [5] запропонована мінімізація часу затримки доставки за рахунок реалізації адаптивного розподілення контенту з об'єднанням його у кластери за ознакою подібності запитів користувачів.

В ряді робіт пропонуються способи контролю в системах потокового відео. В роботах [3–4] розгля-

нудо стратегії розподілення пропускної здатності каналів гетерогенних мереж за рахунок вибору бітрейта на основі HTTP-потокowego відео та алгоритми розподілу швидкості на основі серверів для CDN з урахуванням якості трафіку.

Для систем потокowego відео дуже важливо враховувати тип простору користувача та пропускну спроможність мережі, зокрема суттєвими є граничні параметри стохастичної затримки відтворення відеоконтенту [13].

Застосування нових технологій дозволяє зменшити затримку часу доставки при медіатрансляції. Серед них можна виділити загальний формат додатка для медіа (CMAF) для сегментованих носіїв інформації [14–15], який дозволяє абстрагуватися за допомогою гіпотетичної моделі програми. Це дає можливість здійснювати широкий спектр реалізацій, включаючи HLS [16] та DASH [17].

Іншою новою технологією є модель веб-перегляду для обміну носіями інформації в реальному часі, а саме WebRTC, що надає широке коло можливостей у вирішенні задач підвищення якості онлайн-трансляцій. Зокрема залишаються актуальними проблеми спрощення оцінювання функціональності та якості для додатків і служб WebRTC [18–20].

Використання розглянутих методів та технологій потребує високої кваліфікації в процесі їх впровадження. Це потребує значних часових та фінансових витрат. З метою мінімізації витрат використовуються методи тестування мереж, як складової інфраструктури системи медіатрансляції в реальних умовах експлуатації.

В роботі [21] розглянуто критерії порівняння хмарних мереж доставки контенту, які є основою розвитку перспективних сервісів з високими параметрами якості доставки контенту в глобальному масштабі.

У роботі [22] розглянуті варіанти розв'язку проблем, що виникають в процесі впровадження мереж 5G та пов'язаного з цим суттєвого зростання споживання відеоконтенту. Це призводить до суттєвого збільшення трафіку в ядрі мережі. Запропоновано розширити застосування клієнт-адаптивного підходу, великих даних (big data) та оцінки якості сприйняття сервісів (QoE).

Таким чином, системи доставки медіаконтенту регіонального рівня потребують ефективного і простого методу оцінювання існуючої інфраструктури, зокрема вибору оптимального медіасерверу.

Метою статті є розробка методології дослідження часу затримки на різних етапах доставки потокowego відео.

Виклад основного матеріалу

Ланцюг передачі відео під час онлайн-трансляції умовно можна поділити на шість етапів:

зйомку, кодування відеосигналу, передачу від кодуєчого пристрою до медіасерверу, обробку потоку медіасервером, передачу від медіасервера до клієнта, декодування та відображення на пристрої користувача.

Зображення, що перетворюється камерою у відеосигнал формату SDI, composite або component, не придатне до передачі в каналі зв'язку. Тому існує необхідність перетворення його у цифровий формат для подальшого поширення в мережі. Існує три загальноприйняті формати потокowego відео H.264, VP9 та MPEG2-TS. Нині в системах глобального розповсюдження відео більш поширений формат H.264. Тому перед передачею відеосигналу існує необхідність перетворення його у відеопотік в форматі H.264 без втрати якості або з мінімальною втратою якості, у деяких винятках. Для цього використовуються кодуєчі пристрої. Це може бути програмне забезпечення або спеціально спроектований пристрій, який керується мікропрограмами. Після кодування відеопотік готовий до передачі вищими рівнями моделі OSI. Мережею він передається до медіасервера в одному з можливих мережевих протоколів (UDP, RTSP або RTMP). Медіасервер є основною структурною одиницею, яка розповсюджує прийнятий потік до кінцевих користувачів. Від нього здебільшого залежить часова затримка та якість відеопотоку, що передається. Медіасервери використовуються, зокрема, для таких цілей:

- трансляції мультимедійних потоків у режимі реального часу (live-трансляції) віддаленим користувачам;
- відео за запитом;
- трансляції по плейлистам;
- трансляції з IP-камер.

Відеопотік, що надійшов до медіа серверу, передається до клієнтського пристрою у необхідному протоколі (HLS, RTMP, MPEG-DASH, RTSP). Вибір протоколу обумовлений операційною системою клієнта. Затримка кожного із цих протоколів залежить від їхньої характеристики. Існують так звані “повільні протоколи” (MPEG-DASH, HLS), специфіка яких спрямована на кількість кінцевих користувачів, а не на швидкість передачі сигналу. Тривалість затримки у цьому випадку становить $5 \div 30$ секунд. “Швидкими” називають протоколи RTMP і RTSP, які використовують у телекомунікаційних системах і в телебаченні зокрема. Їхня затримка обумовлена тільки часом, який витрачається на кодування, мережеву передачу та опрацювання медіасервером. Клієнтський пристрій, який приймає відеопотік, повинен декодувати його у зображення. Наразі майже всі пристрої роблять це без вагомої затримки – менше, ніж за 1 мс. Тому на цьому етапі затримкою можна знехтувати.

Серед клієнтських пристроїв розрізняють:

– мобільні пристрої з операційними системами Android, iOS, BlackBerry, Windows Mobile;

– персональні комп'ютери з різноманітними ОС;

- телевізійні приставки;
- телевізори Smart TV;
- ігрові консолі Sony PlayStation, Xbox.

Тому для забезпечення якісної онлайн-трансляції існує необхідність визначення часу затримки на кожному із етапів доставки потокового відео.

Дослідження для даної роботи проведене на базі серверу моделі Supermicro A+ Server 2042G-6RF науково-технічної бібліотеки Національного технічного університету “Дніпровська політехніка”, де для проведення віртуального експерименту була побудована натурна модель системи потокового мовлення. Загальна структура моделі зображена на рис. 1.

Відомо, що основними протоколами, які використовуються для системи потокового мовлення, є RTMP/RTSP та HLS. Ключовим фактором при виборі протоколу є програмно-технічні можливості клієнтського додатку.

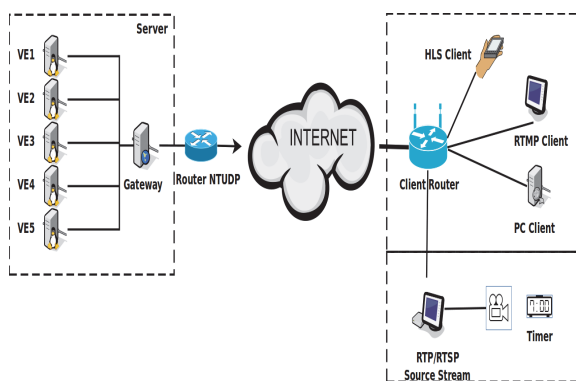


Рис. 1. Загальна структурна схема потокового мовлення

На шляху від джерела потокового відео до медіасерверної платформи (при публікації контенту) зазвичай використовують протокол RTMP/RTSP. Після медіасерверної платформи (на етапі відтворення контенту) можуть бути використані RTMP/RTSP, HLS та інші протоколи.

Під час експерименту оцінювався час на кожному з п'яти етапів:

1. Кодування (на стороні стрімера) та перетворення в RTMP/RTSP потік.
2. Доставка потоку від джерела до сервера потокового мовлення $RTT/2$.
3. Пакування (трансмуксинг) у відповідні потоки за протоколами RTMP/RTSP або HLS.
4. Доставка потоку від сервера до клієнта $RTT/2$.
5. Декодування потоку та відображення контенту на стороні клієнта.

Фізичною причиною виникнення затримки є процеси буферизації та обробки цифрового потоку [6].

Метою експерименту є визначення часу затримки на кожному з етапів доставки потокового відео. Під час експерименту визначались наступні параметри:

1. Час затримки кодування/декодування методом хронометрування.
2. Час доставки пакетів від джерела до медіасерверної платформи і від медіасерверної платформи до клієнта визначався з використанням RTT під час мовлення.
3. Виконувалось вимірювання загального часу затримки в системі потокового мовлення методом хронометрування.
4. Непряма оцінка часу затримки в медіасерверній платформі визначалась за формулою:

$$T_{м.п.} = T_{заг.} - T_{RTT} - T_{код.} - T_{декод.}$$

де $T_{заг.}$ – загальна затримка в системі потокового мовлення; T_{RTT} – час доставки пакетів від джерела до медіасерверної платформи та від медіасерверної платформи до клієнта; $T_{код.}$ – час затримки на кодування; $T_{декод.}$ – час затримки на декодування.

В процесі експерименту досліджувались наступні медіаплатформи:

1. Ant Media Server 1.7.2;
2. MistServer 2.14.1;
3. Nimble Streamer Server 3.5.4;
4. Red5 1.1.1;
5. Wowza Streaming Engine 4.7.

Дані медіасерверні платформи було обрано з урахуванням наступних чинників: доступності медіасерверної платформи для проведення експерименту (відкритості платформи); можливості створення рівних умов при проведенні експерименту.

На сервері було розгорнуто систему віртуалізації Proxmox 5.2, в якій було створено п'ять ідентичних віртуальних машин з такими характеристиками:

- Memory: 8G;
- Swap: 8G;
- Cores: 4;
- Disk: 64G;
- Network: 1G;
- OS: Debian 9.

На цих віртуальних машинах були встановлені такі сервіси потокового мовлення:

- VE1 – Ant Media Server;
- VE2 – MistServer;
- VE3 – Nimble Streamer Server;
- VE4 – Red5;
- VE5 – Wowza Streaming Engine.

Дані віртуальні машини через віртуальні мережеві інтерфейси підключались до корпоративної мережі Інтернет з пропускною здатністю до 2 Гбіт/с.

Джерелом контенту був відеопотік в реальному масштабі часу (t_0 , рис. 2), який візуалізував процес хронометрування.

В якості приймача використовувався пристрій, що відображав відеопотік з відповідного сервера потокового мовлення.

З метою забезпечення коректності проведених вимірювань було виконано такі дії:

1. Джерело і приймач відеопотоку розміщувались в безпосередній близькості один від одного. Це дало можливість використовувати візуальну хронометрію для визначення загальної затримки доставки відеопотоку (t_5 , рис. 2).

2. Джерело та приймач контенту знаходились на однаковій відстані від точки входу до мережі Інтернет, таким чином забезпечувалась рівність RTT. Отже, час доставки потокового відео від джерела до сервера ($t_2 - t_1$) і від сервера до приймача ($t_4 - t_3$) визначався за величиною RTT під час мовлення з використанням утиліти Wireshark на стороні приймача.

3. З метою оцінки затримки часу в реальній інфраструктурі (каналах зв'язку) користувачі розміщувались в місті Дніпро, в зоні радіусом до 10 км.



Рис. 2. Діаграма загального часу доставки відеопотоку:

t_0 – час на вході кодера; t_1 – час на виході кодера; t_2 – час на вході медіа серверної платформи; t_3 – час на виході медіа серверної платформи; t_4 – час на вході декодера; t_5 – час на виході декодера

Загальний час затримки ($t_5 - t_0$) фіксувався на одному кадрі з відображенням часу фіксації в точках t_0 та t_5 (рис. 3). Усереднені величини затримок з використанням протоколів RTMP та HLS наведено в табл. 1 та табл. 2.

В табл. 3 наведено процентне співвідношення затримок часу в медіасервері та на інших етапах доставки потокового відео.

Часовий інтервал, який визначає час затримки на кодування-декодування $(t_1 - t_0) + (t_5 - t_4)$, є узагальноною величиною в даному експерименті.

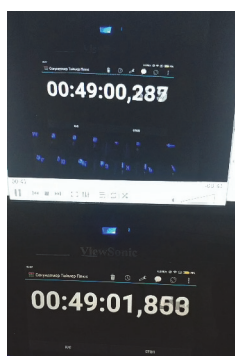


Рис. 3. Фіксація часу доставки в точках t_0 та t_5

Таблиця 1

Усереднені величини затримок з використанням протоколу RTMP

Найменування сервера	Час кодування / декодування, мс	RTT, мс	Загальна затримка, с
Ant Media Server	99	21	2,647
MistServer	120	24	4,35
Nimble Streamer Server	76	21	1,796
Red5	86	22	3,624
Wowza Streaming Engine	110	21	1,582

Таблиця 2

Усереднені величини затримок з використанням протоколу HLS

Найменування сервера	Час кодування / декодування, мс	RTT, мс	Загальна затримка, с
Ant Media Server	105	20	9,152
MistServer	134	21	28,342
Nimble Streamer Server	91	22	8,734
Red5	71	20	19,926
Wowza Streaming Engine	160	21	9,125

Таблиця 3

Складові часу затримки при доставці контенту в медіасервері

Найменування сервера	RTMP, %	HLS, %
Ant Media Server	95,5	98,6
MistServer	96,7	99,5
Nimble Streamer Server	94,6	98,7
Red5	97,2	99,5
Wowza Streaming Engine	91	98

Отже, з табл. 3 видно, що частка часу затримки в медіа сервері є найбільш суттєвою в процентному співвідношенні відносно загальної затримки.

Порівняльна характеристика результатів експерименту представлена на рис. 4–5. Видно, що серед розглянутих медіаплатформ мінімальний час затримки було отримано для Wowza Streaming Engine, Nimble Streamer Server та Ant Media Server.

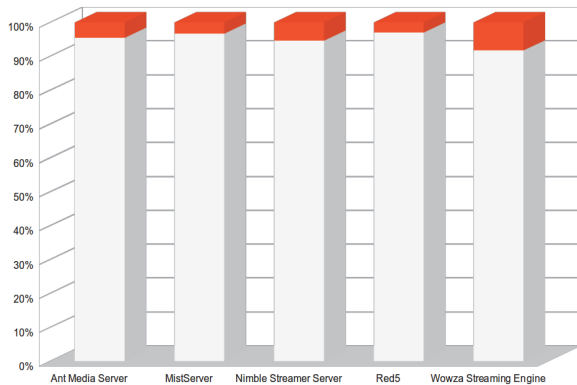


Рис. 4. Порівняльна характеристика результатів експерименту з використанням протоколу RTMP

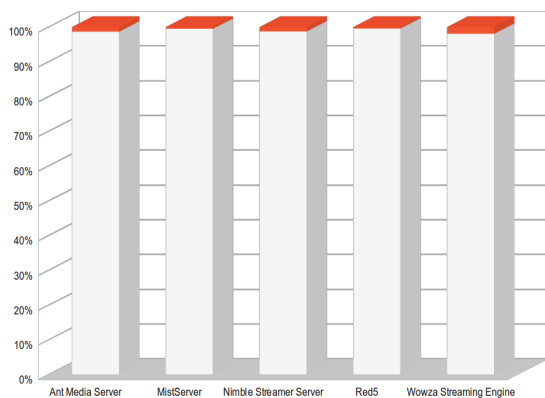


Рис. 5. Порівняльна характеристика результатів експерименту з використанням протоколу HLS

Деяко більший час затримки мають інші розглянуті платформи. Таким чином, видно, що незалежно від обраної медіаплатформи, найбільш суттєва затримка доставки медіаконтенту спостерігається в самому медіа сервері при підготовці потоку для користувача.

Для отримання усередненої оцінки часу затримки на кожному із етапів проводилась серія із 25 експериментів. Усереднені величини затримок з використанням протоколу RTMP наведено в табл. 1, а величини затримок з використанням протоколу HLS наведено в табл. 2. Зведені дані, що показують частку затримки в медіа сервері, наведені в табл. 3.

Висновки

Запропонована методика дозволяє провести оцінювання як загального часу затримки доставки

відеопотоку, так і часу на окремих етапах. Особливістю методики є поєднання прямих і непрямих методів оцінювання часу затримки. Застосування даної методики надає змогу провести попередню оцінку існуючої інфраструктури. Це дозволяє зробити висновок щодо необхідності модернізації як загальної архітектури мережі, так і її окремих компонентів.

Проведені дослідження дозволили оцінити співвідношення складових в загальному часі затримки сигналу в системі потокового відео. Результати експерименту показали, що найбільший час затримки спостерігається на етапі обробки інформації на сервері потокового мовлення. Доля такої затримки складає більше 90% (в окремих випадках понад 95%). Через несуттєві затримки на доставку (менші за 25 мс) для регіонального медіа мовлення більш значущими є не затримка на доставку, а пропускну спроможність каналу зв'язку.

Загальні рекомендації при організації онлайн телевізійної трансляції полягають в наступному:

- використовувати технології WebRTC для розмежування трафіку між клієнтами, що дозволяє зменшити загальну затримку;
- використання CDN мереж для зменшення часу доставки контенту у разі необхідності розширення мовлення за межі регіону;
- у разі суттєвого збільшення кількості споживачів контенту та розширенні географії мовлення доцільним є використання технології Cloud Based WebRTC;
- необхідно забезпечити вибір найбільш оптимального програмного забезпечення медіа серверу з можливістю підтримки формату кодування CMAF, що зменшить час затримки при підготовці відеопотоку для клієнта.

Запропоновано методологію для оцінки часу затримки доставки потокового відео.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці методології вибору серверу потокового мовлення. Вона полягає в декомпозиції загального часу затримки і оцінці її складових з використанням програмно-апаратного комплексу фіксації часових інтервалів. Крім того, побудована система, що дозволяє автоматизувати типові експерименти з визначення часових інтервалів передачі потокового відео в розподілених системах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні інструментарію для вибору оптимальної конфігурації систем трансляції потокового відео регіональних телерадіомовних компаній.

Перспективи подальших досліджень полягають у використанні запропонованого технічного рішення для організації онлайн-трансляцій, у телемедицині та при віддаленому відеоспостереженні за об'єктами критичної інфраструктури.

Список літератури

1. Красовська Ю.О. Впровадження цифрового телебачення DVB-T2 на 9 каналі в місті Дніпро / Ю.О. Красовська, В.І. Магро // *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. – 2017. – № 1(40). – С. 7-15. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-1-1>.
2. Content-Aware Delivery of Scalable Video in Network Coding Enabled Named Data Networks / E. Bourtsoulatzé, N. Thomos, J. Saltarin, T. Braun // *IEEE Transactions on Multimedia*. – 2018. – № 20(6). – P. 1561-1575. <https://doi.org/10.1109/TMM.2017.2767778>.
3. Zhang D. Bitrate allocation among multiple video streams to maximize profit in content delivery networks / D. Zhang, H. He, W. Li // *Personal and Ubiquitous Computing*. – 2016. – № 3(20). – P. 385-396. <https://doi.org/10.1007/s00779-016-0919-7>.
4. Combining layer coding and bandwidth allocation for video distribution on content delivery networks / Wei-Lune Tang, Shih-Hsuan Yang, Ho-Ting Wu, Shao-Ci Jheng // *Wireless Personal Communications*. – 2016. – № 4(91). – P. 1555-1573. <https://doi.org/10.1007/s11277-015-2883-3>.
5. A Prototype for value-added video service provisioning in content delivery networks [Electronic resource] / N.T. Jahromi, S. Yangui, S. Shanmugasundaram, A. Rangy // *Proceedings of 14-th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*. – Las Vegas, NV, USA, 8-11 Jan. 2017. – P. 597-598. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7983183>.
6. Cofano G. Modeling and design of adaptive video streaming control systems [Electronic resource] / G. Cofano, L. Cicco, S. Mascolo // *IEEE Transactions on Control of Network Systems*. – 2018. – № 3(5). – P. 548-559. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7752838>.
7. Cicco L. TAPAS: a tool for rapid prototyping of adaptive streaming algorithms [Electronic resource] / L. Cicco, V. Palmisano, S. Mascolo // *Proceedings of the 2014 Workshop on Design, Quality and Deployment of Adaptive Video Streaming, Sydney, Australia*. – Available at: https://www.researchgate.net/publication/287368975_TAPAS_A_Tool_for_rApid_Prototyping_of_Adaptive_Streaming_algorithms.
8. Cofano G. A hybrid model of adaptive video streaming Control Systems [Electronic resource] / G. Cofano, L. De Cicco, S. Mascolo // *2016 Proceedings of IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC), 12-14 Dec. 2016*. – Las Vegas, USA, P. 1-6. – Available at: <http://cdc2016.ieeeccs.org/>.
9. A hybrid regression model for video popularity-based cache replacement in content delivery networks [Electronic resource] / Emira Ben Abdelkrim, Mohammad A. Salahuddin, Halima Elbiaze, Roch Glitho // *Proceedings of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. – Washington, USA, 4-8 Dec. 2016. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7841508>.
10. Kuo W.H. Resource-saving file management scheme for online video provisioning on content delivery networks / Wen-Hsing Kuo, Yung-Hsuan Lin // *IEEE Transactions on Computers*. – 2016. – № 65. – P. 1910-1920. <https://doi.org/10.1109/TC.2015.2456018>.
11. Performance analysis of WebRTC-Based video streaming over power constrained platforms [Electronic resource] / M. Bacco, M. Catena, T. De Cola, A. Gotta, N. Tonello // *Proceedings of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. – Abu Dhabi, United Arab Emirates, 9-13 Dec. 2018. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8647375>.
12. Energy-efficient content placement for layered video content delivery over cellular networks [Electronic resource] / J. Xie, R. Xie, T. Huang, J. Liu, Y. Liu // *Proceedings of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2017)*. – Singapore, 4-8 Dec. 2017. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8254043?denied=>.
13. Fang S. Stochastic playback delay upper bounds of vehicular video content delivery networks with cache-enabled RSUs [Electronic resource] / S. Fang, P. Fan, Z. Khan // *Proceedings of IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. – Porto, Portugal, 3-6 June 2018. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8417765/>.
14. Towards mass deployment of CMAF [Electronic resource] / R. Peck, J. Cenzano, X. Li, Y. Reznik // *NAB Broadcast Engineering and Information Technology Conference*. – Las Vegas, Nevada, April 2019. – Available at: https://www.researchgate.net/publication/333040216_Towards_Mass_Deployment_of_CMAF.
15. ISO/IEC 23000-19:2018, Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 19: Common media application format (CMAF) for segmented media [Electronic resource]. – Available at: <https://www.iso.org/standard/71975.html>.
16. Pantos R. HTTP live streaming, RFC 8216 [Electronic resource] / R. Pantos, W. May // *Informational*. – 2017. – Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc8216>.
17. ISO/IEC 23009-1:2014, Information technology – Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) – Part 1: Media presentation description and segment formats [Electronic resource]. – Available at: <https://www.iso.org/standard/65274.html>.
18. Analysis of video quality and end-to-end latency in WebRTC [Electronic resource] / B. Garcia, L. Lopez-Fernandez, F. Gortazar, M. Gallego // *Proceedings of IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. – Washington, DC, USA, 4-8 Dec. 2016. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7848838>.
19. Alimudin A. Online video conference system using WebRTC technology for distance learning support / A. Alimudin, A.F. Muhammad // *International Electronics Symposium on Knowledge Creation and Intelligent Computing (IES-KCIC)*. – Bali, Indonesia. – 29-30 Oct. 2018. <https://doi.org/10.1109/KCIC.2018.8628568>.
20. Xhagjika V. Load and video performance patterns of a cloud based WebRTC architecture [Electronic resource] / V. Xhagjika, Ö.D. Escoda, L. Navarro, V. Vlassov // *Proceedings of 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGRID)*. – Madrid, Spain, 14-17 May 2017. – P. 739-745. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7973771/>.
21. Swetha S. Optimized video content delivery over 5G networks [Electronic resource] / S. Swetha, D. Raj // *Proceedings of 2nd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*. – Coimbatore, India, 19-20 Oct. 2017. – P. 1000-1002. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8321232/>.
22. Wang C. Comparing cloud content delivery networks for adaptive video streaming [Electronic resource] / C. Wang, A. Jayaseelan, H. Kim // *Proceedings of 1th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*. – San Francisco, CA,

References

1. Krasovska, Y.O. and Magro, V.I. (2017), “Vprovadzhenja cyfrovogho telebachennja DVB-T2 na 9 kanali v misti Dnipro” [Introduction of digital television of DVB-T2 on the 9 Chanel in the Dnipro City], *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 1(40), pp. 7-15. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-1-1>.
2. Bourtsoulatze, E., Thomos, N., Saltarin, J. and Braun, T. (2018), Content-Aware Delivery of Scalable Video in Network Coding Enabled Named Data Networks, *IEEE Transactions on Multimedia*, No. 20(6), pp. 1561-1575. <https://doi.org/10.1109/TMM.2017.2767778>.
3. Zhang, D., He, H. and Li, W. (2016), Bitrate allocation among multiple video streams to maximize profit in content delivery networks, *Personal and Ubiquitous Computing*, No. 20(3), pp. 385-396. <https://doi.org/10.1007/s00779-016-0919-7>.
4. Tang, W.L., Yang, S.H., Wu, H.T. and Jheng, S.C. (2016), Combining layer coding and bandwidth allocation for video distribution on content delivery networks, *Wireless Personal Communications*, No. 4(91), pp. 1555-1573. <https://doi.org/10.1007/s11277-015-2883-3>.
5. Jahromi, N.T., Yangui, S., Shanmugasundaram, S. and Rangy, A. (2017), A Prototype for value-added video service provisioning in content delivery networks, *Proceedings of 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference*, 8-11 January, Las Vegas, NV, USA, pp. 597-598, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7983183>.
6. Cofano, G., Cicco, L. and Mascolo, S. (2018), Modeling and design of adaptive video streaming control systems, *Proceedings of IEEE Transactions on Control of Network Systems*, Vol. 5, No. 3, pp. 548-559, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7752838>.
7. Cicco, L., Palmisano, V. and Mascolo, S. (2014), TAPAS: a tool for rapid prototyping of adaptive streaming algorithms, *Proceedings of the 2014 Workshop on Design, Quality and Deployment of Adaptive Video Streaming*, Sydney, Australia, available at: https://www.researchgate.net/publication/287368975_TAPAS_A_Tool_for_rApid_Prototyping_of_Adaptive_Streaming_algorithms.
8. Cofano, G., De Cicco, L. and Mascolo, S. (2016), A hybrid model of adaptive video streaming Control Systems, *Proceedings of IEEE 55th Conference on Decision and Control*, 12-14 December, Las Vegas, USA, pp. 1-6, available at: www.cdc2016.ieeecs.org/.
9. Abdelkrim, E.B., Salahuddin, M.A., Elbiaze, H. and Glitho, R. (2016), A hybrid regression model for video popularity-based cache replacement in content delivery networks, *Proceedings of IEEE Global Communications Conference*, 4-8 December, Washington, USA, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7841508>.
10. Kuo, W.H. and Lin, Y.H. (2016), Resource-saving file management scheme for online video provisioning on content delivery networks, *IEEE Transactions on Computers*, No. 65, pp. 1910-1920. <https://doi.org/10.1109/TC.2015.2456018>.
11. Bacco, M., Catena, M., Cola, T.D., Gotta, A. and Tonello, N. (2018), Performance analysis of WebRTC-Based video streaming over power constrained platforms, *Proceedings of IEEE Global Communications Conference*, 9-13 December, Abu Dhabi, United Arab Emirates, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8647375>.
12. Xie, J., Xie, R., Huang, T., Liu, J. and Liu, Y. (2017), Energy-efficient content placement for layered video content delivery over cellular networks, *Proceedings of IEEE Global Communications Conference*, 4-8 December, Singapore, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8254043?denied=>.
13. Fang, S., Fan, P. and Khan, Z. (2018), Stochastic playback delay upper bounds of vehicular video content delivery networks with cache-enabled RSUs, *Proceedings of IEEE 87th Vehicular Technology Conference*, 3-6 June, Porto, Portugal, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8417765/>.
14. Peck, R., Cenzano, J., Li, X. and Reznik, Y. (2019), Towards mass deployment of CMAF, *Proceedings of NAB Broadcast Engineering and Information Technology Conference*, April, Las Vegas, Nevada, available at: https://www.researchgate.net/publication/333040216_Towards_Mass_Deployment_of_CMAF.
15. ISO/IEC 23000-19:2018, *Information technology - Coding of audio-visual objects – Part 19: Common media application format (CMAF) for segmented media*, available at: <https://www.iso.org/standard/71975.html>.
16. Pantos, R. and May, W. (2017), *HTTP live streaming, RFC 8216*, available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc8216>.
17. ISO/IEC 23009-1:2014, *Information technology – Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) – Part 1: Media presentation description and segment formats*, available at: <https://www.iso.org/standard/65274.html>.
18. Garcia, B., Lopez-Fernandez, L., Gortazar, F. and Gallego, M. (2016), Analysis of video quality and end-to-end latency in WebRTC, *Proceedings of IEEE Globecom Workshops*, Washington, DC, USA, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7848838>.
19. Alimudin, A. and Muhammad, A.F. (2018), Online video conference system using WebRTC technology for distance learning support, *Proceedings of International Electronics Symposium on Knowledge Creation and Intelligent Computing*, Bali, Indonesia. <https://doi.org/10.1109/KCIC.2018.8628568>.
20. Xhagjika, V., Escoda, Ö.D., Navarro, L. and Vlassov, V. (2017), Load and video performance patterns of a cloud based WebRTC architecture, *Proceedings of 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing*, Madrid, Spain, pp. 739-745. available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7973771/>.
21. Swetha, S. and Raj, D. (2017), Optimized video content delivery over 5G networks, *Proceedings of 2nd International Conference on Communication and Electronics Systems*, Coimbatore, India, pp. 1000-1002, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8321232/>.
22. Wang, C., Jayaseelan, A. and Kim, H. (2018), Comparing cloud content delivery networks for adaptive video streaming, *Proceedings of 1th International Conference on Cloud Computing*, pp. 686-693, San Francisco, CA, USA, available at: https://www.researchgate.net/publication/325922789_Comparing_Cloud_Content_Delivery_Networks_for_Adaptive_Video_Streaming.

Надійшла до редколегії 16.10.2019

Схвалена до друку 19.11.2019

Відомості про авторів:**Магро Валерій Іванович**

кандидат фіз.-мат. наук доцент кафедри
Дніпровського національного університету
ім. О. Гончара,
Дніпро, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4238-6733>

Святошенко Володимир Олександрович

старший викладач кафедри
Національного технічного університету
“Дніпровська політехніка”,
Дніпро, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4027-5706>

Тимофєєв Дмитро Сергійович

старший викладач
Національного технічного університету
“Дніпровська політехніка”,
Дніпро, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9718-6678>

Information about the authors:**Valerii Magro**

Candidate of Physics and Mathematics Sciences
Associate Professor of Oles Honchar
Dnipro National University,
Dnipro, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4238-6733>

Volodymyr Svyatoshenko

Senior Instructor
of National Technical University
“Dnipro Polytechnic”,
Dnipro, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4027-5706>

Dmytro Tymofieiev

Senior Instructor
of National Technical University
“Dnipro Polytechnic”,
Dnipro, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9718-6678>

МЕТОД ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ В ПРОЦЕССЕ ПОТОКОВОГО ВЕЩАНИЯ

В.И. Магро, В.А. Святошенко, Д.С. Тимофеев

Рассмотрена задача минимизации задержки медиаконтента при онлайн-трансляции. Объектом исследования являются медиасерверные платформы, используемые для организации онлайн-трансляций медиаконтента. Целью работы является исследование времени задержки при доставке медиаконтента в процессе онлайн-трансляции. В процессе проведения экспериментов установлено, что наибольшие затраты времени на доставку обусловлены процессом обработки потока в медиасервере. Задержка в медиасервере возникает за счет преобразований сигнала. Проведен анализ наиболее распространенных на рынке медиасерверов, которые позволяют организовать онлайн-трансляцию на региональном уровне. Это Ant Media Server 1.7.2, MistServer 2.14.1, Nimble Streamer Server 3.5.4, Red5 1.1.1, Wowza Streaming Engine 4.7. Предложена методика оценки времени задержки доставки медиаконтента в сетях потокового вещания. Разработанная методика дает возможность определить как общее время задержки, так и его составляющие на каждом из этапов доставки.

Ключевые слова: время задержки, медиасерверная платформа, онлайн-трансляция, видеоконтент, протокол.

METHOD FOR EVALUATING THE DELAY TIME IN A STREAM BROADCAST PROCESS

V. Magro, V. Svyatoshenko, D. Tymofieiev

The problem of minimizing the delay of media content during online broadcasting is considered. The object of the study is the media server platforms used to organize online broadcasts of media content. Objective of the research is to study the delay time for the delivery of media content in the process of online broadcasting. Method. The stages of video stream transmission are investigated. During the experiments, it was found that the greatest time spent on delivery is due to the processing of the video stream in the media server. The delay in the media server occurs due to signal transformations. The analysis of the most common media servers on the media services market that allow you to organize online broadcasting at the regional level is carried out. These are Ant Media Server 1.7.2, MistServer 2.14.1, Nimble Streamer Server 3.5.4, Red5 1.1.1, Wowza Streaming Engine 4.7. A technique is proposed for estimating the time delay for the delivery of media content in streaming networks. The developed methodology makes it possible to determine both the total delay time and its components at each of the stages of delivery. A generalized structure of the information and telecommunication system for modeling the process of streaming broadcasting is proposed. The model allows creating equal conditions for testing selected media server platforms. The features of this model are: ease of implementation, the ability to use standard components, open documentation, the ability to scale in heterogeneous networks. A feature of the technique is the combination of direct and indirect methods of measuring the delay time. Results. To obtain an average estimate of the delay time at each stage, a series of experiments was carried out using the RTMP and HLS protocols. The proposed methodology makes it possible to evaluate both the total delay time for the delivery of the video stream and the delay time at individual stages. The application of the methodology makes it possible to conduct a preliminary assessment of the existing infrastructure. This allows us to draw conclusions about the necessary modernization of the overall network architecture and its individual components. It was found that the fraction of the delay time in the media server is the most significant in percentage terms relative to the total delay. Conclusions. A methodology for estimating the delivery time of streaming video is proposed. Architecture has been developed and a system has been implemented to automate typical experiments to determine the time intervals for streaming video in distributed systems. The created tools allow making an informed choice of the optimal configuration of streaming video broadcasting systems of regional broadcasting companies.

Keywords: delay time, media server platform, online broadcast, video content, protocol.