

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“_____” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: “Оброблення зображень та відео сигналів в системах передачі
мультимедійних даних”

Виконавець: _____ Дмитро САВЧЕНКО
(підпис)

Керівник: _____ Ірина ТЕРЕНТЬЄВА
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Освітньо-професійна програма “Телекомунікаційні системи та мережі”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Савченко Дмитра Дмитровича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: “Оброблення зображень та відео сигналів в системах передачі мультимедійних даних”

затверджена наказом ректора від “29” березня 2023 р. № 421/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р

3. Вихідні дані до роботи: методи обробки сигналів в мультимедійному середовищі.

4. Зміст пояснювальної записки: в першому розділі розглянуто методи обробки сигналів в середовищі мультимедіа; в другому розділі розглянуто передачу мультимедійних даних мобільною мережею; третій розділ присвячений реалізації безперебійного мультимедійного мовлення LTE.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: рисунки, формули.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	22.05.2023 - 25.05.2023	Виконано
2.	Вступ	26.05.2023	Виконано
3.	Огляд методів обробки сигналів у середовищі мультимедіа	27.05.2023 - 31.05.2023	Виконано
4.	Передача мультимедійних даних мобільною мережею	01.06.2023 - 06.06.2023	Виконано
5.	Безперебійне мультимедійне мовлення lte	07.06.2023 - 13.06.2023	Виконано
6.	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	14.06-2023- 25.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Ірина ТЕРЕНТЬЄВА
(підпис керівника) (П.І.Б)

Завдання прийняв до виконання _____ Дмитро САВЧЕНКО
(підпис випускника) (П.І.Б)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи “Оброблення зображень та відео сигналів в системах передачі мультимедійних даних” містить 55 сторінок, 12 рисунків, 28 бібліографічних посилань.

Ключові слова: МУЛЬТИМЕДІА, LTE, eMBMS, DASH, СЕРВЕР, СИСТЕМИ, UMTS, 3GPP, HTTP.

Об’єкт дослідження - є дослідження методів оброблення зображень та відео сигналів в системах передачі мультимедійних даних

Предмет дослідження - дослідження проксі-сервера DASH, та побудова механізму, який розв'язує проблеми забезпечення надійної доставки мультимедійного вмісту, уникнення небажаних збоїв у роботі служби та зменшення затримки обслуговування.

Мета кваліфікаційної роботи - створення механізму, який дозволяє вибирати альтернативні представлення у випадку сегментів які потрібно відновити за допомогою HTTP.

Метод дослідження - дослідження методів, які допоможуть уникнути перебоїв у службі та зменшити затримку послуги для послуг мультимедійного мовлення LTE шляхом додавання можливостей динамічної адаптації до процесу відновлення помилок одноадресної адреси.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ У СЕРЕДОВИЩІ МУЛЬТИМЕДІА.....	10
1.1. Мультимедійні системи зв'язку.....	10
1.2. Представлення мультимедійного сигналу.....	14
1.3. Оптимізація передачі даних в мультимедійних системах.....	18
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	20
РОЗДІЛ 2. ПЕРЕДАЧА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДАНИХ МОБІЛЬНОЮ МЕРЕЖЕЮ.....	22
2.1. Архітектура мережі четвертого покоління.....	22
2.2. Ключові ієрархії в LTE.....	24
2.3. Технологія потокової передачі даних.....	27
2.4. Адаптивна потокова передача HTTP 3GPP.....	31
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	33
РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕРЕБІЙНЕ МУЛЬТИМЕДІЙНЕ МОВЛЕННЯ LTE.....	35
3.1. Проблема безперервності обслуговування в типовій мультимедійній ширококомовній службі LTE.....	35
3.2. Аналіз існуючих алгоритмів адаптації DASH.....	38
3.3. Забезпечення безперервності послуги в мультимедійному мовленні LTE.....	39
3.4. Адаптивний проксі-сервер DASH для відновлення після помилок.....	42
3.5. Підходи до проектування проксі.....	44
3.6. Оцінка продуктивності проксі-сервера DASH у контексті мультимедійної трансляційної служби LTE.....	46
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	49
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

MPEG (Moving Pictures Experts Group) - Експертна група з питань рухомого зображення

MAC (Media Access Control) - унікальний ідентифікатор, що зіставляється з різними типами устаткування для комп'ютерних мереж.

OSI (Open Systems Interconnection model) - абстрактна мережева модель для комунікацій і розроблення мережевих протоколів.

QoS (Quality of Service) - здатність мережі досягати максимальної пропускну здатності та мати справу з іншими елементами продуктивності мережі, такими як затримка, швидкість помилок та час роботи

JPEG (Joint Photographic Experts Group) - стандарт стиснення зображень, який дозволяє зменшити розмір файлу без втрати якості.

M-JPEG (Motion JPEG) - формат відео, який складається з послідовності зображень JPEG.

MPEG (Moving Picture Experts Group) - стандарт стиснення відео та аудіо.

ISO/IEC (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission) - міжнародна організація, яка розробляє та публікує міжнародні стандарти.

DCT (Discrete Cosine Transform) - метод стиснення зображень та відео.

4G (4th Generation) - четверте покоління мобільного зв'язку.

LTE (Long-Term Evolution) - стандарт мобільного зв'язку, який дозволяє передавати дані з високою швидкістю.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) - стандарт мобільного зв'язку третього покоління.

3GPP (3rd Generation Partnership Project) - проєкт, який розробляє стандарти мобільного зв'язку третього покоління.

GSM (Global System for Mobile Communications) - стандарт мобільного зв'язку другого покоління.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) - стандарт бездротового доступу до Інтернету.

RTP (Real-time Transport Protocol) - протокол транспорту даних в режимі реального часу для передачі аудіо та відео через мережу.

RTSP (Real Time Streaming Protocol) - протокол мережевого рівня для керування потоковими мультимедійними серверами.

IP (Internet Protocol) - протокол мережевого рівня, який забезпечує адресацію та маршрутизацію даних в мережах.

CDN (Content Delivery Network) - глобальна мережа серверів, яка забезпечує швидку доставку контенту до кінцевих користувачів.

FLUTE (File Delivery over Unidirectional Transport) - протокол для передачі файлів через мережу.

AL-FEC (Application Layer Forward Error Correction) - метод корекції помилок на рівні додатків для забезпечення надлишковості даних.

eMBMS (Enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service) - технологія, яка дозволяє передавати мультимедійний контент на кілька пристроїв одночасно через мережу.

TCP (Transmission Control Protocol) - протокол передачі даних, який забезпечує надійну доставку даних.

UDP (User Datagram Protocol) - протокол передачі даних, який не забезпечує надійну доставку даних.

eNB (evolved NodeB) - базова станція мережі LTE.

RNC (Radio Network Controller) - контролер радіомережі.

ВСТУП

Актуальність теми. Зменшення затримки обслуговування у службах потокового передавання в прямому ефірі, шляхом використання проксі-сервер DASH, що розташовується поблизу базової станції. Що забезпечить своєчасну передачу інформації, та скоротить час завантаження даних, що дуже важливо під час війни.

Мета і завдання дослідження. Створення механізму, який дозволить зменшити затримку обслуговування у службах потокового передавання в прямому ефірі.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

1. Аналіз існуючих методів обробки, стиснення та передачі мультимедійних сигналів.
2. Аналіз існуючих алгоритмів адаптації DASH.
3. Дослідження підходів до проектування проксі.
4. Дослідження мережі Long-Term Evolution (LTE).
5. Дослідження служб потокового передавання в прямому ефірі.
6. Провести порівняння проксі-сервера, який підтримує буфер, та не підтримує буфер.

Об'єктом дослідження. Є методи оброблення зображень та відео сигналів в системах передачі мультимедійних даних.

Методи дослідження. Аналіз існуючих методів обробки мультимедійних даних, порівняння проксі-серверів, узагальнення інформації.

Практичне значення отриманих результатів. Полягає у виборі технологій для побудови механізму, який розв'язує проблеми надійної доставки мультимедійного вмісту, уникнення небажаних збоїв у роботі служби та зменшення затримки обслуговування. Це досягається за допомогою проксі-сервера DASH, розташованого біля базової станції.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД МЕТОДІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ У СЕРЕДОВИЩІ МУЛЬТИМЕДІА

1.1. Мультимедійні системи зв'язку

Основна концепція проектування системи зв'язку полягає в тому, щоб передавати інформацію за мінімально можливих витрат, одночасно забезпечуючи достатньо високу якість і максимальну користь для користувача. У мультимедійній комунікації типи інформації, які потребують високої швидкості передачі та високої швидкості обробки через їх великий обсяг, тобто аудіо, зображення, відео та графічні джерела, є найбільш критичними; комунікаційні системи (мережі та пристрої) часто досягають своїх можливостей для цих типів даних. Тому обробка, зберігання та передача аудіовізуальних сигналів стала одним із найважливіших рушійних факторів у розробці пристроїв із постійно зростаючою обчислювальною потужністю та пам'яттю, а також мереж із більшою ємністю.

Мультимедійні джерела або генеруються за допомогою сенсорного захоплення (камера, мікрофон, з аналого-цифровим перетворенням), або генеруються синтетично, наприклад графіка, синтезована мова чи звуки. Для відтворення та споживання людьми часто необхідне інше перетворення у відповідне фізичне середовище (наприклад, генерування звукової хвилі через гучномовець).

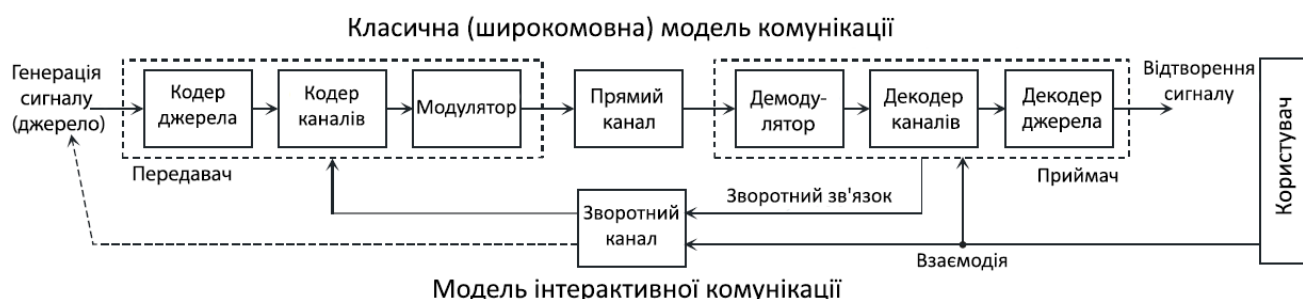


Рис. 1.1. Концепція класичної системи зв'язку та системи зі зворотнім зв'язком

Класична концепція однонаправленої системи зв'язку проілюстрована у верхній частині рис. 1.1., модель підходить для додатків, де немає зворотного каналу, наприклад для трансляції. Пристрої з лівого боку (передавач) мають додаткові частини з правого боку (приймач). Вихідний кодер і декодер, каналний кодер і декодер співпрацюють, використовуючи узгоджені коди, намагаючись компенсувати помилки та обмеження пропускної здатності, накладені каналом. Мета цієї системи – передати якомога більше інформації з якомога вищою якістю. Це досягається оптимізацією вихідного кодера, який стискає джерело до найменшої можливої кількості бітів, каналного кодера, який захищає потік бітів від можливих втрат, і модулятора, який надсилає носії символу найбільш прийнятним способом через фізичний канал. Необхідна спільна оптимізація цих блоків, беручи до уваги характеристики каналу, такі як втрати, викликані перешкодами або шумом, і доступну фізичну пропускну здатність. Канал має пропускну здатність, яка виражає максимальну швидкість інформації, яка може бути передана без помилок між передавачем і приймачем. У цьому контексті головним завданням кодування джерела є усунення надмірності, яка зазвичай присутня в оригінальному захопленні мультимедійних джерел, і їх стиснення до нижчої швидкості. Канальне кодування додає надлишковість з метою захисту від помилок у разі втрат. Швидкість, вироблена джерелом, не повинна перевищувати пропускну здатність каналу, і якщо це було б, або відбулася б втрата інформації, або потрібно було б використовувати більш агресивне стиснення джерела [1].

У класичній концепції зв'язку приймач детерміновано декодує все, що надходить через канал, така модель підходить для трансляції, де не має сенсу реагувати на втручання одного користувача, однак у зв'язку «точка-точка» це інакше. Нижня частина рис. 1.1 ілюструє, як класична модель може бути доповнена зворотним каналом і компонентами інтерактивності. Користувач сам може взаємодіяти і впливати на будь-яку частину ланцюга, включаючи генерацію сигналу. Крім того, автоматичний зворотний зв'язок може генеруватися будь-якою частиною приймача, наприклад, запитати повторну передачу втраченої інформації або повідомити передавач про поточний стан каналу. Більш «розумні» системи можуть

навіть включати елементи аналізу вмісту сигналу, щоб допомогти користувачеві взаємодіяти та шукати мультимедійні дані.

Мультимедійні комунікації (тобто передача мови та відеозображень) зазвичай здійснюються між двома пристроями (відправником та одержувачем) у локальній або глобальній мережі, а також у змішаних мережах. Існують різні способи доставки мультимедійної інформації до мережі. При виборі деяких способів мережеві ресурси (наприклад, маршрутизатори) використовуються дуже ефективно, завдяки чому зменшується навантаження на мережу, спричинена наявністю мультимедійних комунікацій. Інші способи (особливо ті, що застосовуються у застарілих мультимедійних програмах) створюють досить високий мережевий трафік.

У тому випадку, коли в локальній або глобальній мережі розгорнуто мультимедійні програми, важливо визначити, чи є трафік, що створюється, односпрямованим, широкомовним і/або багатоадресним (груповим). Деякі програми можуть використовувати лише один тип пересилання інформації, інші програми можуть працювати в декількох режимах. Якщо ви знаєте, який тип трафіку генерується деяким додатком, вам буде легше планувати смугу пропускання, необхідну для розгортання цієї програми в мережі.

Сервер відеозображень, що передає клієнтам MPEG-файли в протокольному режимі, вимагає смуги пропускання приблизно 1,5 Мбіт/с для одного клієнта. Якщо програма розрахована на односпрямовану передачу, сервер генерує трафік, обсяг якого дорівнює значенню 1,5 Мбіт/с, помноженому на кількість клієнтів (наприклад, для п'яти клієнтів трафік становитиме 7,5 Мбіт/с). Якщо сервер підключено по 10-мегабітному каналу, шість чи сім клієнтів повністю займуть смугу пропускання мережі. При широкомовленні ступінь використання смуги пропускання буде не меншим або навіть вищим.

Якщо цей додаток буде працювати в режимі багатоадресного мовлення, ступінь використання смуги пропускання зменшиться до 1,5 Мбіт/с незалежно від кількості клієнтів. Розглянемо, наприклад, мережу, в якій є чотири маршрутизатори. Дві станції, підключені до одного маршрутизатора, входять в одну групу клієнтів мультимедійної програми, а п'ять станцій, підключених до одного з

маршрутизаторів, що залишилися, входять до другої групи. При мультимовленні один відправлений пакет досягає обох маршрутизаторів, а вони, своєю чергою, передають інформацію так, що вона буде отримана лише тими клієнтами, які входять до відповідних груп, підключених до конкретного маршрутизатора (тобто двома клієнтами для першого маршрутизатора та п'ятьма) клієнтами – для другого).

Наявність засобів для багатоадресної групової адресації на рівнях 2 і 3 моделі OSI означає, що ви можете використовувати цей метод передачі для того, щоб врахувати топологію мережі. Наприклад, якщо топологія є окремою локальною мережею, то, швидше за все, буде достатньо MAC-адресації рівня 2. Якщо в мережі використовуються кілька сегментів, маршрутизація та підключення до глобальних мереж, то адресація рівня 3 дозволить задіяти всі переваги маршрутизації.

Окрім традиційних каналів трансляції, мультимедійний трафік сьогодні часто передається через різномірні канали (наприклад, фізична передача в основі Інтернету), які можуть мати дуже різні характеристики. Зокрема, при бездротовій і мобільній передачі, необхідно виконувати часту і належну адаптацію через миттєві коливання характеристик каналу. У загальному вигляді канали можуть бути мережами або пристроями зберігання даних, де елементи зберігання не лише знаходяться на кінцях ланцюга передачі (сервер і клієнт), тимчасове зберігання здійснюється на проксі-серверах для швидкого доступу до вмісту, який, ймовірно, буде відновлено кілька разів. У разі помилкової передачі відновлення на стороні клієнта часто виходить далеко за рамки традиційного декодування каналу та джерела, наприклад за допомогою передових методів приховування помилок, включаючи аналіз вмісту.

Зрештою, мультимедійну систему зв'язку оцінюватимуть за цінністю, яку вона надає користувачеві, яка тлумачиться з точки зору якості над вартістю. Широко використовується термін «Якість обслуговування» (QoS), який слід тлумачити як сприйману якість, на яку впливають такі параметри мережі, як швидкість передачі, затримка та втрати, а також продуктивність стиснення вихідного кодування/декодування та взаємозв'язок з характеристиками каналу. Вартість, що стягується з користувача, також залежить від вартості пристроїв, які

використовуються для виконання цих завдань. Тому менш складна система краще відповідає потребам користувача.

1.2. Представлення мультимедійного сигналу

Завдяки стисненню мультимедійного сигналу має бути досягнуто найбільш компактне представлення, що забезпечує найвищу можливу якість сприйняття. Після захоплення сигнал перетворюється в цифрове представлення з кінцевою кількістю вибірок і рівнями амплітуди. Цей крок вже впливає на кінцеву якість. Якщо діапазон швидкості, який може передати канал-кандидат, або роздільна здатність, необхідна програмі, невідомі на момент отримання даних, доцільно захопити сигнал із найвищою можливою якістю та, якщо необхідно, зменшити його до нижчої якості пізніше.

Властивості самого сигналу, які дозволяють кодером джерела зменшувати швидкість без втрати інформації, можуть бути виражені в термінах надмірності (наприклад, очікувана подібність між зразками сигналу або більш часта поява певних станів джерела). Якщо передбачається споживання людиною, додатково може бути корисним адаптувати метод вихідного кодування з урахуванням властивостей сприйняття, оскільки було б марно передавати дрібнішу деталізацію якості, ніж користувач може (або бажає) сприйняти. Деякі погіршення, що виникають у процесі вихідного кодування та декодування, можуть бути невідчутними або бути незначними, щоб їх можна було допускати, або модифікація може бути навіть бажаною (наприклад, видалення шуму датчика). Це нерелевантна частина вихідного сигналу, яка цілком може бути пропущена в кодуванні. Проте, якщо доступний лише канал низької пропускної здатності, простого використання надмірності або нерелевантності може бути недостатньо для зниження швидкості. Тоді неминуче прийняти додаткові спотворення. Природа цих спотворень може бути різною, напр. зменшення просторової або часової роздільної здатності або шум кодування/квантування. Властивості, пов'язані зі змістом, також можуть бути взяті

до уваги. Це може напр. можна зробити шляхом призначення кращої якості частинам або частинам сигналу, які, ймовірно, будуть важливішими для уваги користувача.

Закодована інформація зазвичай представляється у вигляді двійкових цифр (бітів). Швидкість передачі даних вимірюється або в бітах на вибірку, або в бітах за секунду (біт/с), де остання є результатом співвідношення біт/відбірка, помноженого на кількість вибірок/с (частота дискретизації). Важливим критерієм оцінки продуктивності схеми вихідного кодування є ступінь стиснення. Це співвідношення між бітовою швидкістю, необхідною для представлення нестисненого джерела та його стисненого представлення. Якщо, наприклад для цифрового телебачення високої чіткості нестисне джерело вимагає принаймні 800 Мбіт/с, і якщо швидкість після стиснення становитиме 4 Мбіт/с, необхідний коефіцієнт стиснення становить $800:4=200$. Якщо потоки стисненого сигналу зберігаються як файли на дисках комп'ютера, розмір файлу можна оцінити, щоб судити про продуктивність стиснення. Під час перекладу на бітові швидкості слід зауважити, що розміри файлів часто вимірюються в кбайтах, мегабайтах тощо, де один байт складається з 8 біт, 1 кбайт=1024 байт, 1 мегабайт=1024 кбайт тощо.



Рис. 1.2. Основний принцип системи кодування мультимедійних сигналів: а кодер, б декодер

На рис. 1.2 показана базова блок-схема типових систем кодування та декодування мультимедійних сигналів:

- Першим кроком є відображення зразків сигналу в еквівалентне представлення, яке в ідеальному випадку дозволяє зворотне відображення для ідеального відновлення. Зазвичай подання в еквівалентному просторі представлення розріджене, ніж у вихідному просторі сигналу, так що наступні кроки стають простішими та можуть бути краще оптимізовані. Розрідженість означає, що для еквівалентного представлення потрібна менша кількість вибірок, або значення вибірок зосереджені на меншій амплітуді. Важливими принципами цього відображення є передбачення та перетворення. У випадку лінійних операцій, які використовуються для цієї мети, відображення також позначається як декореляція, оскільки воно зазвичай усуває лінійні статистичні залежності між вибірками в еквівалентному просторі представлення. Для оптимізації таких систем використовуються статистичні моделі, але також можна враховувати генерацію (наприклад, властивості процесу збору даних) і семантичний зміст. Якщо функція відображення змінюється (як це зазвичай необхідно для мультимедійних сигналів з локально змінними властивостями), може знадобитися згенерувати додаткові параметри додаткової інформації, які потрібні для виконання зворотного відображення під час декодування.

- Другим кроком є квантування, яке відображає сигнал, його еквівалентне представлення або параметри додаткової інформації у значення з дискретних алфавітів (якщо це не було раніше або якщо має бути виконано більш агресивне стиснення з втратами). Обмеження сприйняття спостерігача або інші критерії нерелевантності (пов'язані з передбачуваним використанням) слід враховувати під час квантування таким чином, щоб якомога більше відповідної інформації зберігалось з заданою кількістю дискретних (квантованих значень) станів. Як правило, менша кількість станів квантованих значень природно призводить до меншої кількості бітів на вибірку, але також збільшує спотворення.

- Останнім кроком є кодування на бітовому рівні, яке має на меті представити стани дискретної інформації з ще нижчою швидкістю, як правило, без їх зміни.

Оптимізація кодування здебільшого виконується на основі статистичних критеріїв, таких як частота появи різних станів. Мінімальна швидкість, необхідна для однозначного представлення станів, тобто букв скінченного дискретного алфавіту, позначається як ентропія. Окрім швидкості та спотворення, інші параметри для налаштування алгоритму вихідного кодування – це затримка та складність. Всі чотири параметри мають взаємний вплив один на одного.

Співвідношення між швидкістю та спотворенням визначається функцією спотворення швидкості, яка дає теоретичну нижню межу швидкості, якщо потрібна певна максимальна межа спотворення. Поліпшення швидкості/спотворення (що означає покращений коефіцієнт стиснення при збереженні постійного спотворення) часто можна досягти шляхом збільшення складності алгоритму кодування/декодування, наприклад адаптуючи його більш складним способом до різноманітних джерел статистики [2]. Крім того, збільшена затримка також допомагає підвищити ефективність стиснення; якщо, наприклад, кодер може передбачити наслідки поточних рішень для майбутніх кроків кодування, це може надати перевагу.

У той час як швидкість і затримку можна прямо визначити кількісно за набором значень, таких як середнє значення, пік і варіація, кількісна оцінка спотворень потребує більш складних показників, які враховують сприйняття користувача, тоді як такі критерії, як квадрат помилки або співвідношення сигнал/шум (SNR) часто використовуються і їх легко обчислити. Кількісна оцінка складності знову складною, оскільки блоки кодека можуть бути простішими або складнішими для реалізації на різних платформах, а судження про складність вимагає врахування кількох модальностей, таких як кількість воріт, розмір мікросхеми, енергоспоживання, використання пам'яті, зручність програмного/апаратного забезпечення, можливість розпаралелювання операцій тощо.

1.3. Оптимізація передачі даних в мультимедійних системах

Інтерфейс між вихідним кодером і каналом також має велике значення для загального перцептивного QoS. Тоді як вихідний кодер усуває надлишковість із сигналу, каналне кодування додає надлишковість до потоку бітів з метою захисту та відновлення у разі втрат. На стороні приймача каналний декодер усуває надлишковість, введену каналним кодувальником, використовуючи її для виправлення помилок, тоді як вихідний декодер доповнює надлишковість, видалену вихідним кодувальником, реконструюючи джерело якомога краще з отриманої інформації. З цієї точки зору операції кодування джерела/декодування каналу та кодування каналу/декодування джерела подібні. Насправді складіша частина зазвичай знаходиться на стороні, де надлишковість видаляється, оскільки це вимагає цільової оцінки відповідної інформації в рамках над повного представлення. Фактично кодування джерела та каналу слід оптимізувати разом для оптимальної продуктивності. Наприклад, не корисно додавати надмірність за допомогою кодування каналу для частин бітових потоків, які є менш доречними з точки зору користувача. Передача по каналу також включає модуляцію, де комбінація принципів каналного кодування та модуляції на фізичному рівні зазвичай використовується в комунікаційних технологіях для наближення до обмежень пропускної здатності каналу.

У контексті проектування мультимедійних систем часто вигідно трактувати канал як «чорний ящик» за допомогою моделі. Зокрема, це стосується характеристик помилок/втрат, швидкості передачі, затримки (латентності) тощо, які є найважливішими параметрами якості мережі. Коли мережа гарантує певний мінімум якості, адаптація між вихідним кодуванням і мережевою передачею може бути здійснена майже оптимальним чином [3]. Зазвичай це робиться протоколами переговорів. Якщо якість мережі не гарантована, можна запровадити спеціальні механізми для адаптації на стороні сервера та клієнта. Це включає захист від помилок для конкретної програми на основі оціненої якості мережі або використання протоколів повторної передачі. Введення затримки також є

життєздатним методом покращення якості передачі, напр. шляхом оптимізації розкладів передачі, тимчасової буферизації інформації на стороні приймача перед початком представлення або скремблювання/перемежування потоків, коли очікуються пакетні втрати під час передачі. У крайньому разі одержувач може запитати повторну передачу втраченої або пошкодженої інформації, поки вона нарешті не надійде, але це призведе до збільшення затримки передавання. Таким чином, також для частини кодування каналу можна очікувати покращення якості, коли дозволена більша затримка або більша складність систем.

Однак це може підходити не для всіх програм. Наприклад, розмовні служби в режимі реального часу (наприклад, відеотелефонія) дозволяють лише низьку затримку; те ж саме стосується будь-яких інтерактивних програм, де очікується швидка реакція. Для мобільних пристроїв, де ємність батареї є критичною, загальна складність систем, як правило, має бути низькою.

Для кодування рухомих зображень насамперед було розширено стандарт JPEG. У його різновиді M-JPEG окремо кодується кожне відео. Таким чином досягається стиск у межах від 20:1 до 50:1 і навіть більше. Недоліком модифікованого стандарту M-JPEG і те, що процедура кодування стислих сигналів дуже трудомістка. Крім того, зі збільшенням ступеня стиснення значно погіршується якість зображення.

Найкращі результати дає стандарт MPEG (ISO/IEC 11172-2 та 13818-2), який також використовує для стиснення кореляцію сигналів усередині кадру та при зміні кадрів. Коефіцієнти перетворення DCT, по-перше, піддаються локальній просторовій обробці, коли він використовується кореляція даних всередині кадру зображення.

Крім того, коефіцієнти різних кадрів зображення піддаються тимчасовій обробці, яка використовує схожість наступних кадрів зображення (картинок). Після двох ступенів обробки відбувається адаптивне квантування, а потім кодування коефіцієнтів DCT кодovими словами змінної довжини, наприклад, при якому рідким високим амплітудним значенням відповідають довгі кодові слова, а частим маленьким амплітудним значенням - короткі кодові слова. Подальше стиск досягається завдяки тому, що через регулярні інтервали часу передається повна інформація про кадр зображення (картинці), піддана стиску шляхом двоступінчастої

обробки коефіцієнтів DST, а в проміжках вся необхідна інформація обчислюється через передбачення. Додаткове стиснення здійснюється також завдяки інтерполяції інформації про колір.

Фізично абстрактний канал часто складається з ланцюжка кількох мережевих шляхів, що мають різні характеристики. При цьому весь ланцюг ніколи не може бути сильнішим за його найслабший елемент. У гетерогенних мережах важливу роль відіграють можливості легкої адаптації медіа-потоків під мінливі характеристики мережі. У деяких випадках може знадобитися перекодувати потоки в інший формат, який краще підходить для конкретних характеристик мережі. З цієї точки зору методи вихідного кодування, що створюють масштабовані потоки, які адаптуються та можуть бути скорочені незалежно від процесу кодування, є дуже вигідними.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У цьому розділі розглянуто основні поняття та термінологію стиснення та передачі мультимедійних сигналів, наведено огляд збору даних, загальних форматів і обсягів даних у цифровому представленні джерел аудіовізуального сигналу.

У мультимедійній комунікації типи інформації, які потребують високої швидкості передачі та високої швидкості обробки через їх великий обсяг, тобто аудіо, зображення, відео та графічні джерела, є найбільш критичними.

Мультимедійний трафік сьогодні часто передається через різноманітні канали, які можуть мати дуже різні характеристики. Зокрема, при бездротовій і мобільній передачі, необхідно виконувати часту і належну адаптацію через миттєві коливання характеристик каналу. У загальному вигляді канали можуть бути мережами або пристроями зберігання даних, де елементи зберігання не лише знаходяться на кінцях ланцюга передачі (сервер і клієнт), тимчасове зберігання здійснюється на проксі-серверах для швидкого доступу до вмісту, який, ймовірно, буде відновлено кілька разів.

Коли мережа гарантує певний мінімум якості, адаптація між вихідним кодуванням і мережевою передачею може бути здійснена майже оптимальним

чином. Зазвичай це робиться протоколами переговорів. Якщо якість мережі не гарантована, можна запровадити спеціальні механізми для адаптації на стороні сервера та клієнта.

Мультимедійна комунікація означає поєднання кількох видів інформації, які зазвичай сприймаються органами чуття людини. У цьому контексті аудіовізуальна інформація (мовлення/аудіо/звук/зображення/відео/графіка) має особливе значення, і це виклик, що стосується складності обробки сигналів. Цифрове представлення надає нові ступені свободи в обміні, розподілі та отриманні даних, де комунікація включає обмін інформацією між людьми, між людьми та машинами або лише між машинами. Для відтворення аудіовізуальних даних бажана достатня якість, тоді як кількість бітів для передачі даних часто обмежена, тому стиснення є ключовою технологією.

РОЗДІЛ 2

ПЕРЕДАЧА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДАНИХ МОБІЛЬНОЮ МЕРЕЖЕЮ

2.1. Архітектура мережі четвертого покоління

Мобільні мережі четвертого покоління (4G) стрімко поширюються. Довгостроковий розвиток (LTE), який є еволюцією попереднього третього покоління універсальної мобільної телекомунікаційної системи (UMTS). Протягом значного періоду часу ці дві технології співіснуюватимуть, оскільки нові пристрої на ринку, такі як смартфони, наразі підтримують обидві технології підключення.

Забезпечення безперебійної мобільності користувачів є ключовим фактором стандартів LTE і UMTS, визначених 3GPP (Проект партнерства третього покоління [4]). Були визначені різні процедури, щоб забезпечити безперервність обслуговування для користувачів, які переміщуються, наприклад, із зони, охопленої коміркою LTE, до зони, охопленої іншою суміжною коміркою LTE. Фактично, важливою відмінністю між мережами третього та четвертого покоління є те, що останні мають архітектуру плоского IP (усі мережеві пристрої спілкуються через технологію IP), на відміну від мереж третього покоління, де зв'язок між пристроями використовує радіоканали з технологіями множинного доступу.

У цьому підрозділі представлені основні концепції мобільної мережі 4G, які є важливими для розуміння роботи, представленої у кваліфікаційній роботі. На рис. 2.1 (а) показано архітектуру мережі UMTS. Різні компоненти згруповані в три домени: мобільна станція (MS), обслуговуюча мережа (SN) і домашня мережа (HN). Домен мобільної станції складається з мобільного обладнання (ME), яке є мобільним пристроєм, і універсального модуля ідентифікації абонента (USIM). Останній містить всесвітній унікальний ідентифікаційний номер, який називається International Mobile Subscriber Identity (IMSI), та іншу інформацію, яка надається Центру автентифікації (AuC) оператора мобільного зв'язку (детальніші відомості наведено далі).

Універсальна наземна мережа радіодоступу (UTRAN) є мережею доступу для мереж UMTS. UTRAN складається з контролерів радіомереж (RNC) і базових станцій, які називаються NodeB. RNC є керуючим блоком мережі UTRAN (один RNC може контролювати велику кількість NodeB, які мають мінімальну функціональність і в основному передають повідомлення між MS і RNC). SN може належати тому самому постачальнику USIM або іншому постачальнику в областях, які не покриваються постачальником USIM. SN складається з центрів комутації мобільних пристроїв (MSC) і реєстрів розташування відвідувачів (VLR). MSC може керувати кількома мережами UTRAN. VLR записує інформацію MS, підключеної до мережі, і відстежує позиції MS. Домашня мережа містить MSC (операції подібні до SN) і Home Location Registers (HLR), які містять постійну інформацію про зареєстрованих користувачів оператора та записують місцезнаходження користувачів. Нарешті, центр автентифікації (AuC) використовується для створення даних автентифікації. Для кожного абонента, ідентифікованого IMSI, він містить алгоритми безпеки та індивідуальний ключ (K_i), який є копією K_i , яка постійно зберігається на USIM-картці абонента. Значення IMSI є загальнодоступним, і його можна зчитати з пристрою, який монтує USIM. Ключ, однак, має залишатися в таємниці та ніколи не повинен розкриватися USIM та AuC. З цієї причини USIM надає функції, доступні для ME, які можна використовувати на етапі автентифікації, щоб отримати тимчасові ключі від K_i . Таким чином секрет K_i ніколи не розкривається ME.

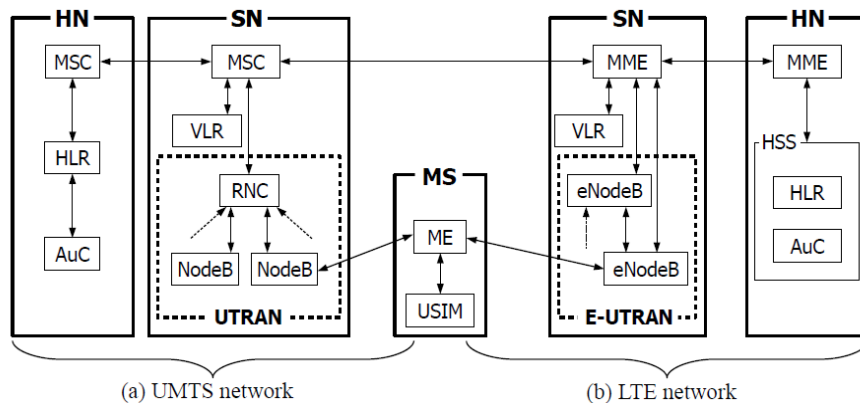


Рис. 2.1. Архітектури мереж UMTS і LTE

На рис. 2.1 (b) зображено архітектуру мережі LTE. На відміну від UTRAN, де RNC контролює багато NodeB, розвинена універсальна наземна мережа радіодоступу (E-UTRAN) складається лише з одного типу елемента: розвинутий вузол B (eNodeB або eNB). Домашній eNB (HeNB) виконує ту саму функцію, що й eNodeB, але оптимізований для розгортання для меншого охоплення, ніж макро eNodeB, наприклад у закритих приміщеннях і громадських точках доступу. Таким чином, в подальшому акронім eNB використовуватиметься для позначення як eNodeB, так і Home-eNB. eNB «логічно» підключено безпосередньо до Mobility Management Entity (MME). Насправді, якщо з'єднання eNB-MME захищені за допомогою IPsec, як рекомендує специфікація 3GPP, між E-UTRAN і MME розміщуються шлюзи безпеки для завершення тунелів IPsec. Однак використання тунелів IPsec залежить від операторів мережі (якщо з'єднання фізично захищене, захист IPsec можна не використовувати). Основна відмінність системної архітектури між мережами LTE і UMTS полягає в тому, що функції, які виконувалися RNC в UMTS, тепер розподілені між eNB і MME. MME є основним компонентом керування мережею доступу, який ініціює процес автентифікації, відстежує позиції MS, отримує підписки MS від HN і керує підключенням. У LTE «конкатенація» HLR і AuC представлена домашнім абонентським сервером (HSS), єдиним компонентом, який поєднує в собі функціональні можливості HLR і AuC.

2.2. Ключові ієрархії в LTE

В LTE першою процедурою, яку виконує мобільний пристрій, який хоче підключитися до мережі, є процедура автентифікації та угоди про ключ (АКА). Метою цієї процедури є встановлення ключів, які використовуватимуться в криптографічних операціях під час зв'язку між мобільним пристроєм і мережею. Ключі виводяться зі спільного ключа K_i та деяких випадково згенерованих значень. Ключі періодично оновлюються, щоб запобігти можливим атакам через шифрування великих обсягів даних тими ж ключами. Процедура АКА в мережах UMTS визначає

два ключі: ключ шифру (СК) і ключ цілісності (ІК), які відповідно використовуються для шифрування та перевірки цілісності даних, якими обмінюються MS і RNC. UMTS визначає тільки один клас трафіку між MS і мережею. Таким чином, встановлюється лише одна пара ключів (рис 2.2, права сторона), яка використовується для всіх зв'язків між MS і RNC. Технологія LTE вносить значні відмінності в управління ключами [5]. LTE використовує різні ключі для різних протоколів, що використовуються між терміналом і різними компонентами обслуговуючої мережі. Ці ключі організовані в ієрархію, як показано на рис. 2.2 (ліворуч). У верхній частині (корінь) ключ K_i , спільний між USIM і AuC. Інші ключі походять від K_i , дотримуючись рівнів ієрархії зверху вниз. Кожен рівень ієрархії вказує, які частини мережі знають ключі рівня. Як і очікувалося, мобільний пристрій знає всі ключі, крім K_i . Як і в UMTS, починаючи з ключа K_i , ключі СК і ІК виводяться, навіть якщо вони насправді не використовуються для шифрування та цілісності в мережах LTE, а скоріше використовуються для отримання послідовних ключів. Дотримуючись ієрархії, ключ KASME, створений під час автентифікації, отримується HSS, а потім надсилається до MME (таким же чином MS отримує той самий ключ).

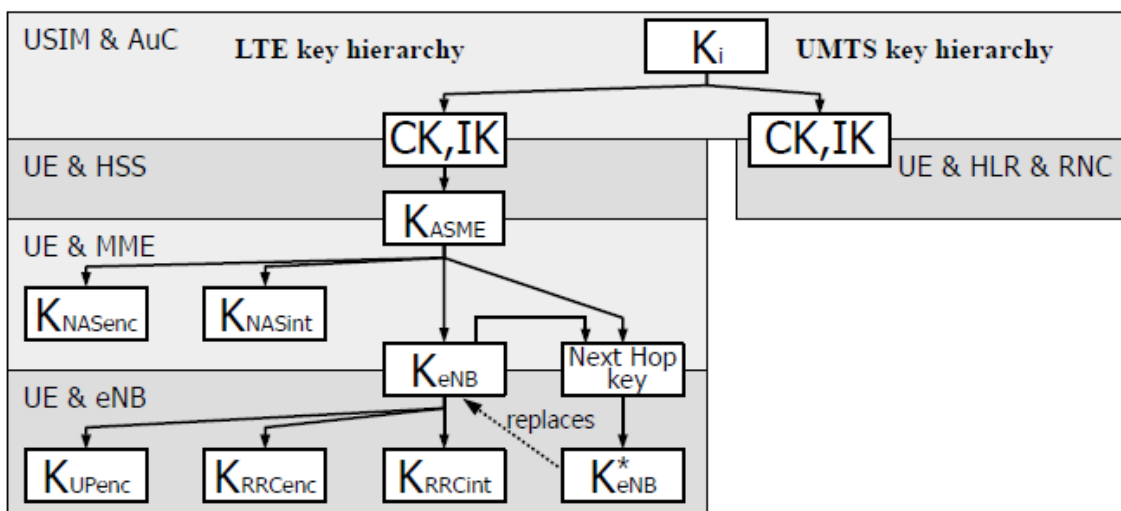


Рис. 2.2. Ієрархії ключів LTE та UMTS

Ключ KeNB отримується MS і MME, починаючи з KASME, а потім надсилається до eNB, який таким чином може активувати процедури безпеки між eNB і MS. Однак KASME та KeNB не використовуються безпосередньо в криптографічних операціях. LTE забезпечує два механізми захисту для двох різних класів контрольного трафіку (Control Plane): трафік Non Access Stratum (NAS) і трафік Access Stratum (AS). Трафік NAS складається зі зв'язку між MME та MS (пересилається «прозорим» способом через eNB), тоді як трафік AS (також званий трафіком керування радіоресурсами (RRC)) включає керуючі повідомлення між MS та eNB. З цієї причини від KASME отримано два ключі: KNASenc, який використовується для шифрування, і KNASint, який використовується для перевірки цілісності повідомлень NAS. Так само з KeNB ключі KRRCenc і KRRCint отримуються та використовуються для повідомлень AS. Трафік користувача (площина користувача) шифрується за допомогою іншого ключа, який називається KUPenc. Захист цілісності не підтримується для цього класу трафіку. Нарешті, після успішної передачі MS між двома сусідніми eNB, необхідно оновити KeNB [6]. Для цього MME отримує нове значення з ключа KASME, яке називається наступним ключем переходу, яке використовується разом із попереднім KeNB для генерації ключа KeNB, який використовується цільовим eNB після передачі.

Процедури передачі активуються обслуговуючою мережею (eNB в LTE, RNC в UMTS), коли потужність радіосигналу між мобільною станцією та поточним вузлом eNodeB/NodeB надто знижується. Рішення про виконання хендвера приймається eNB або RNC, який вибирає цільовий eNB/RNC зі списку сусідів (список відомий заздалегідь). Якщо сусід із такою ж технологією (LTE/UMTS) недоступний для хендвера, тоді виконується хендвер до мережі з іншою технологією. Процедури Intra-Handover застосовуються, коли користувач переходить між різними комірками LTE, тоді як процедури Inter-RAT застосовуються під час переходу від технології радіодоступу (GSM, UMTS, LTE, WiMAX або будь-якої іншої бездротової технології) до іншої. Ці процедури описані в специфікаціях 3GPP TS 23.401 і TS 33.401 [7]. eNB можна безпосередньо підключити за допомогою інтерфейсу X2, який

можна використовувати для виконання процедур передачі. Кожен eNB підключається до MME через інтерфейс S1. Обидва інтерфейси засновані на IP.

2.3. Технологія потокової передачі даних

Традиційна потокова передача даних зазвичай використовує протокол із збереженням стану, наприклад, протокол потокової передачі в реальному часі (RTSP): коли клієнт підключається до потокового сервера, сервер відстежує стан клієнта, доки клієнт знову не від'єднається. Як правило, між клієнтом і сервером відбувається часте спілкування. Після встановлення сеансу між клієнтом і сервером сервер надсилає медіа у вигляді безперервного потоку пакетів через транспорт UDP або TCP. Навпаки, HTTP не має стану. Якщо HTTP-клієнт запитує деякі дані, сервер відповідає, надсилаючи дані, і транзакція припиняється. Кожен запит HTTP обробляється як повністю окрема одноразова транзакція. Як альтернатива потоковому передаванню, поступове завантаження може використовуватися для доставки медіа зі стандартних веб-серверів HTTP. Клієнти, які підтримують HTTP, можуть шукати позиції в медіафайлі, виконуючи запити діапазону байтів до веб-сервера (за умови, що він також підтримує HTTP/1.1 [8]). Недоліки прогресивного завантаження здебільшого полягають у тому, що пропускна здатність може бути втрачена, якщо користувач вирішить припинити перегляд вмісту після початку поступового завантаження (наприклад, перемикаючись на інший вміст), воно насправді не адаптивне до бітрейту та він не підтримує живі медіа-сервіси. Динамічне адаптивне потокове передавання через HTTP (DASH) усуває недоліки потокового передавання на основі RTP/RTSP і прогресивного завантаження.

Поступове завантаження на основі HTTP дійсно має значне поширення на ринку. Таким чином, потокове передавання на основі HTTP має бути якомога ближче до прогресивного завантаження на основі HTTP, але враховувати вищезазначені недоліки.

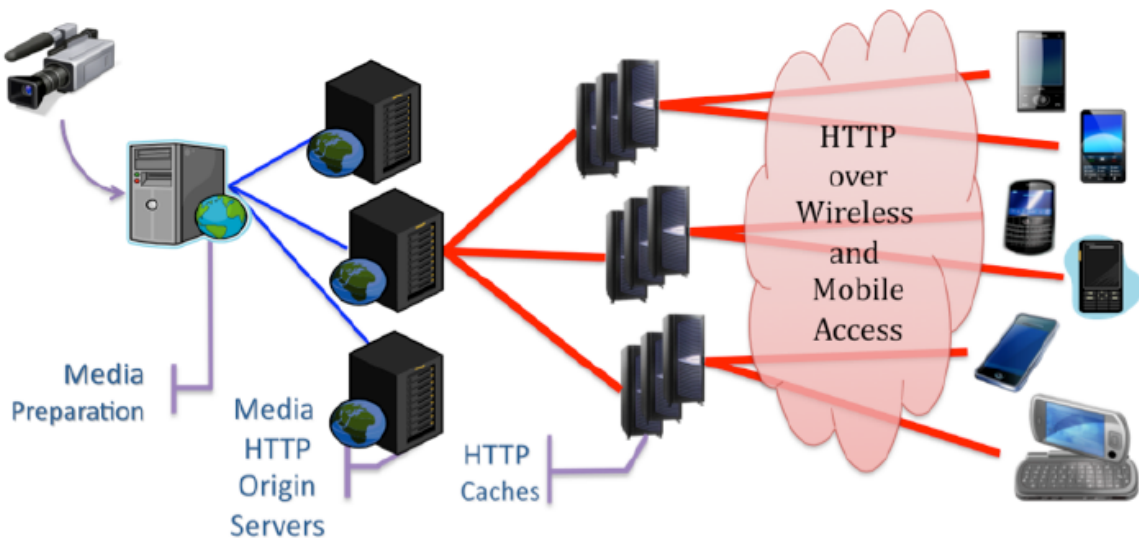


Рис. 2.3. Приклад архітектури розповсюдження медіа

На рис. 2.3 показана можлива архітектура розповсюдження медіа для потокової передачі на основі HTTP. Процес підготовки медіа зазвичай генерує сегменти, які містять різні закодовані версії одного або кількох медіакомпонентів медіаконтенту. Потім сегменти зазвичай розміщуються на одному або кількох серверах походження медіа разом із описом медіа-презентації (MPD). Сервер джерела мультимедійних даних переважно є сервером HTTP, щоб будь-який зв'язок із сервером базувався на протоколі HTTP (позначено жирною лінією на рис. 2.3). На основі цієї інформації метаданих MPD, яка описує зв'язок між сегментами та те, як вони формують медіа-презентацію, клієнти запитують сегменти за допомогою методів HTTP GET або часткового GET. Клієнт повністю контролює потоковий сеанс, тобто керує своєчасним запитом і плавним відтворенням послідовності сегментів, потенційно регулюючи бітрейт або інші атрибути, наприклад, щоб реагувати на зміни стану пристрою або налаштувань користувача.

Широкомасштабоване розповсюдження мультимедійних даних вимагає наявності серверних ферм для обробки підключень до всіх окремих клієнтів. Мережі розповсюдження вмісту (CDN) на основі HTTP успішно використовувалися для обслуговування веб-сторінок, розвантажуючи вихідні сервери та зменшуючи затримку завантаження. Такі системи, як правило, складаються з розподіленого набору кешуючих веб-проксі та набору переадресаторів запитів. Враховуючи

масштаб, охоплення та надійність систем CDN на основі HTTP, привабливо використовувати їх як основу для запуску потокових служб, які будуються на існуючій інфраструктурі. Це може зменшити капітальні та операційні витрати, а також зменшити або скасувати рішення щодо надання ресурсів на вузлах. Цей принцип показано на рис. 2.3 проміжними HTTP-серверами/кешами/проксі. Сервери загального призначення забезпечують масштабованість, надійність, близькість до місця розташування користувача та високу доступність. Нижче наведено причини, які призвели до вибору HTTP як протоколу доставки потокових служб:

1. Потокова передача HTTP широко поширюється як форма доставки Інтернет-відео.

2. Існує чітка тенденція до використання HTTP як основного протоколу для доставки мультимедіа через відкритий Інтернет.

3. Доставка на основі HTTP забезпечує прості та легкі послуги потокового передавання, уникаючи проблем NAT і брандмауера.

4. Доставка на основі HTTP забезпечує надійність і простоту розгортання завдяки тому, що HTTP і базовий протокол TCP/IP широко реалізовані та розгорнуті.

5. Доставка на основі HTTP надає можливість використовувати стандартні HTTP-сервери та стандартні HTTP-кеші (або дешеві сервери загалом) для доставки вмісту, щоб його можна було доставляти з CDN або будь-якої іншої стандартної серверної ферми.

6. Доставка на основі HTTP надає можливість повністю передати контроль над «потоковим сеансом» клієнту. Клієнт в основному відкриває лише одне або кілька або багато TCP-з'єднань з одним або кількома стандартними HTTP-серверами чи кешами.

7. Доставка на основі HTTP надає можливість клієнту автоматично вибирати початкову швидкість вмісту, щоб відповідати початковій доступній пропускній здатності, не вимагаючи узгодження з потоковим сервером.

8. Доставка на основі HTTP забезпечує прості засоби для плавної зміни швидкості вмісту на льоту у відповідь на зміни доступної смуги пропускання в межах заданого вмісту чи послуги, не вимагаючи узгодження з потоковим сервером.

9. Потокове передавання на основі HTTP має потенціал для прискорення конвергенції послуг потокового відео через фіксовану мобільну мережу, оскільки CDN на основі HTTP можна використовувати як загальну платформу доставки.

Грунтуючись на цих міркуваннях, 3GPP визначила потреби в наданні специфікації для масштабованого та гнучкого рішення для розповсюдження відео, яке стосується мобільних мереж, але не обмежується мережами радіодоступу 3GPP (RAN). 3GPP виступила з ініціативою визначити рішення Adaptive HTTP Streaming на додаток до вже існуючих потокових рішень на основі RTP/RTSP і рішення прогресивного завантаження на основі HTTP.

Зокрема, це рішення розроблено:

- для підтримки доставки медіа-компонентів, інкапсульованих у базову структуру формату медіа-файлу ISO,
- для вирішення питання доставки, тоді як презентація, анотація та взаємодія з користувачем значною мірою виходять за рамки,
- для інтеграції в різні структури презентацій.

Підгрупа 3GPP SA4, яка працює над кодеками та протоколами для доставки мультимедійних даних, розпочала потокову діяльність HTTP у квітні 2009 року та завершила роботу над специфікацією Release-9 на початку березня 2010 року. 3GPP Adaptive HTTP Streaming (AHS) було інтегровано в 3GPP Transparent end- служба потокової передачі з пакетною комутацією (PSS). Зокрема, пункт 12 3GPP TS 26.234 [8] (Кодеки та протоколи PSS) визначає рішення 3GPP Adaptive HTTP Streaming, а пункти 5.4.9, 5.4.10 і 13 3GPP TS 26.244 [6] (формат файлу 3GP) визначають інкапсуляцію формати для сегментів. Робота над випуском 9 зараз перебуває в режимі обслуговування, і протягом 2010 року було узгоджено деякі незначні виправлення помилок і роз'яснення, які були інтегровані в останні версії 3GPP TS 26.234 і 3GPP TS 26.244.

Рішення підтримує такі функції, як:

- швидкий початковий запуск і пошук,
- ефективність пропускної здатності,
- адаптивне перемикання бітрейту,

- адаптація до властивостей CDN,
- повторне використання HTTP-сервера та кешу,
- повторне використання існуючих механізмів відтворення медіа,
- підтримка служб доставки на вимогу, у прямому ефірі та зі зміщенням часу,
- простота для широкого впровадження.

3GPP також прагнув узгодження з іншими організаціями та галузевими форумами, які працюють у сфері розповсюдження відео. Наприклад, Open IPTV Forum (OIPF) заснував своє рішення HTTP Adaptive Streaming (HAS) [10] на 3GPP.

3GPP також звернувся до певних вимог OIPF і інтегрував відповідні функції в специфікацію Release-9 3GPP Adaptive HTTP Streaming. Крім того, чернетка рішення MPEG DASH значною мірою базується на HAS 3GPP. Нарешті, 3GPP має постійну роботу над випуском 10, який тепер також називається DASH. Ця робота розширить специфікацію Release-9 3GPP HAS шляхом зворотної сумісності. Організована тісна координація з поточними заходами MPEG DASH.

2.4. Адаптивна потокова передача HTTP 3GPP

3GPP Adaptive HTTP Streaming, починаючи з Release-10, відомий як 3GP-DASH, є результатом діяльності зі стандартизації в 3GPP SA4. На рис. 2.4 показано принцип специфікації 3GP-DASH. Специфікація передбачає

- нормативне визначення медіа-презентації, де медіа-презентація визначається як структурований набір даних, доступний для клієнта DASH через опис медіа-презентації,
- нормативне визначення форматів сегмента, де сегмент визначається як невід'ємний блок даних медіа-презентації, на який можна однозначно посилатися за допомогою HTTP-URL (можливо, обмеженого діапазоном байтів),
- нормативне визначення протоколу доставки, що використовується для доставки сегментів, а саме HTTP/1.1,
- інформативний опис того, як клієнт DASH може використовувати надану інформацію для встановлення потокової служби для користувача.

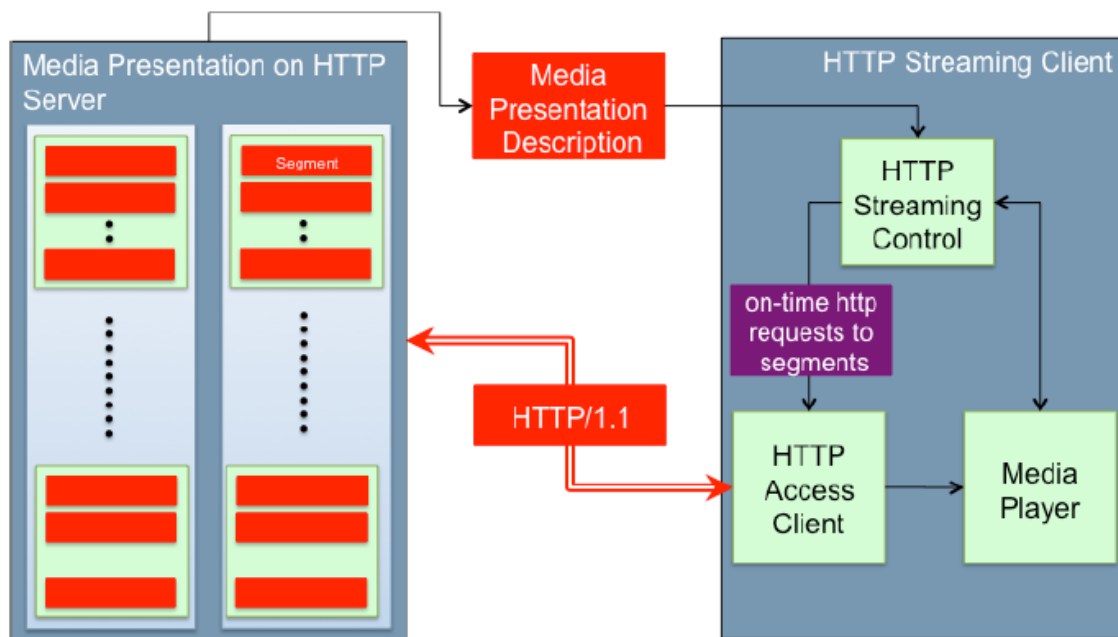


Рис. 2.4. Огляд рішення – 3GP-DASH

DASH у 3GPP визначається на двох рівнях:

1. Пункт 12.2 у TS 26.234 [8] забезпечує загальну структуру для динамічної адаптивної потокової передачі незалежно від формату інкапсуляції даних для медіа-сегментів.

2. Пункт 12.4 у TS 26.234 [8] надає конкретний екземпляр цієї структури з базовим форматом медіафайлу 3GP/ISO, вказуючи формати сегментів, частково посилаючись на формати в TS 26.244 [9].

Цей підхід робить структуру, визначену в 3GPP, розширюваною, наприклад, до будь-яких інших форматів сегментів, кодеків і рішень DRM. 3G-DASH підтримує численні сервіси, серед інших:

- потокове передавання на вимогу,
- лінійне телебачення, включаючи медіатрансляцію в прямому ефірі,
- перегляд зі зсувом у часі з функціями персонального відеозапису в мережі (PVR).

Особливу увагу при проектуванні було приділено тому, щоб мережеву частину можна було розгорнути на стандартних HTTP-серверах, а розповсюдження можна було забезпечити через звичайні веб-інфраструктури, такі як CDN на основі HTTP.

Специфікація також залишає простір для різних варіантів розгортання на стороні сервера/мережі, а також для оптимізованих клієнтських реалізацій. Специфікація також визначає положення для підтримки таких функцій, як:

- початковий вибір клієнтських і/або користувальницьких репрезентацій вмісту,
- динамічна адаптація відтворюваного вмісту для реагування на зміни навколишнього середовища, такі як пропускна здатність доступу або потужність обробки,
- хитрі режими наприклад пошук, швидке перемотування вперед або назад,
- Просте вставлення попередньо закодованої реклами чи іншого вмісту в сервісах потокового передавання за запитом і в прямому ефірі,
- Ефективна доставка кількома мовами та звукових доріжок,
- Захист вмісту та безпека транспортування тощо.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

В другому розділі кваліфікаційної роботи була розглянута архітектура мобільної мережі 4G, забезпечення безперебійної мобільності користувачів є ключовим фактором стандартів LTE, визначених 3GPP (Проект партнерства третього покоління). Важливою відмінністю між мережами третього та четвертого покоління є те, що останні мають архітектуру плоского IP (усі мережеві пристрої спілкуються через технологію IP), на відміну від мереж третього покоління, де зв'язок між пристроями використовує радіоканали з технологіями множинного доступу.

Широко масштабоване розповсюдження мультимедійних даних вимагає наявності серверних ферм для обробки підключень до всіх окремих клієнтів. Мережі розповсюдження вмісту (CDN) на основі HTTP успішно використовувалися для обслуговування веб-сторінок, розвантажуючи вихідні сервери та зменшуючи затримку завантаження. Такі системи, як правило, складаються з розподіленого набору кешуючих веб-проксі та набору переадресаторів запитів. Враховуючи масштаб, охоплення та надійність систем CDN на основі HTTP, привабливо

використовувати їх як основу для запуску потокових служб, які будуються на існуючій інфраструктурі. Це може зменшити капітальні та операційні витрати, а також зменшити або скасувати рішення щодо надання ресурсів на вузлах.

Традиційна потокова передача даних зазвичай використовує протокол із збереженням стану, наприклад, протокол потокової передачі в реальному часі (RTSP): коли клієнт підключається до потокового сервера, сервер відстежує стан клієнта, доки клієнт знову не від'єднається. Як правило, між клієнтом і сервером відбувається часте спілкування. Після встановлення сеансу між клієнтом і сервером сервер надсилає медіа у вигляді безперервного потоку пакетів через транспорт UDP або TCP. Технологія Adaptive HTTP Streaming з ініціативи 3GPP є додатком до вже існуючих потокових рішень на основі RTP/RTSP та рішення прогресивного завантаження на основі HTTP.

РОЗДІЛ 3

БЕЗПЕРЕБІЙНЕ МУЛЬТИМЕДІЙНЕ МОВЛЕННЯ LTE

3.1. Проблема безперервності обслуговування в типовій мультимедійній ширококомовній службі LTE

Мультимедійні послуги через мобільні мережі викликають кілька проблем, наприклад забезпечення надійної доставки мультимедійного вмісту, уникнення небажаних збоїв у роботі служби або зменшення затримки обслуговування. Адаптивна потокова передача HTTP вирішує ці проблеми для мультимедійних одноадресних послуг, але вона не ефективна з точки зору споживання радіоресурсів. У мережах Long-Term Evolution (LTE) послуги мультимедійного мовлення надаються через загальний радіоканал із використанням комбінації методів прямого виправлення помилок і одноадресних методів відновлення помилок на прикладному рівні. У цьому підрозділі показано, як уникнути перебоїв у службі та зменшити затримку послуги для послуг мультимедійного мовлення LTE шляхом додавання можливостей динамічної адаптації до процесу відновлення помилок одноадресної адреси. Пропоноване рішення забезпечує безперебійне мобільне мультимедійне мовлення без шкоди для якості послуги, що сприймається користувачами.

Попит на послуги потокового передавання мультимедійних даних зростає внаслідок широкого впровадження мобільних пристроїв із більшою потужністю, а також унаслідок еволюції мобільних мереж, ємність яких постійно зростає. Незважаючи на таку зростаючу ємність, послуги потокового передавання в прямому ефірі висувають суворі вимоги щодо затримки, тому все ще потрібні нові рішення для оптимізації доставки мультимедійного вмісту. У службах потокового передавання в прямому ефірі важливим параметром якості обслуговування є затримка обслуговування, яка визначається як різниця між часом, коли відбувається подія в прямому ефірі, і часом, коли подія в прямому ефірі відтворюється на приймальному терміналі. Зменшивши затримки буферизації, затримку служби

можна мінімізувати. Однак у типовій службі мультимедійного мовлення Long-Term Evolution (LTE) необхідна буферизація, щоб уникнути перебоїв у роботі служби.

Проект партнерства третього покоління (3GPP) визначає, як транслювати мультимедійний вміст через LTE за допомогою динамічної адаптивної потокової передачі через HTTP (DASH) [11] технології. DASH дозволяє мультимедійному програвачу адаптуватися до мінливих умов мережі, перемикаючись між різними представленнями того самого вмісту. Кожне представлення розбивається на сегменти однакової тривалості, і кожен сегмент однозначно ідентифікується за допомогою уніфікованого покажчика ресурсу (URL). Файл опису медіапрезентації (MPD) зазвичай використовується для визначення доступних представлень і URL-адрес сегментів. Хоча механізм адаптації DASH дозволяє забезпечити безперебійне відтворення, у контексті трансляції мультимедіа LTE HTTP використовується лише як механізм одноадресного відновлення, тому що HTTP не є ефективним для трансляції того самого вмісту для масової аудиторії з точки зору споживання мережевих ресурсів. LTE 3GPP пропонує використовувати вдосконалену послугу Multimedia Broadcast Multicast Service (eMBMS) [12] для надсилання через загальний канал однієї копії мультимедійних сегментів усім термінальним клієнтам, підключеним до служби eMBMS.

Таким чином, мультимедійні сегменти, закодовані з бітрейтом, який відповідає доступній пропускній здатності каналу eMBMS, інкапсулюються та надсилаються через eMBMS за допомогою доставки файлів через протокол односпрямованого транспорту (FLUTE) [13]. FLUTE, який особливо підходить для багатоадресних мереж, працює поверх UDP і може використовуватися разом із методами прямого виправлення помилок рівня додатків (AL-FEC) [14] для підвищення надійності передачі даних через eMBMS. Однак, незважаючи на використання Методи AL-FEC, висока частота помилок пакетів (PER) [15] можуть призвести до втрати сегментів у багатоадресному каналі. У цьому випадку HTTP використовується як механізм одноадресного відновлення для відновлення втраченого сегмента.

Конструкція рішення дозволяє використовувати стандартні мультимедійні програвачі DASH для відтворення мультимедійного вмісту. На рис. 3.1 показано, як

буде працювати рішення: сервер FLUTE надсилає сегменти до терміналів, підключених до служби eMBMS. Клієнт FLUTE на терміналі копіює сегмент у внутрішній веб-кеш. Коли програвач DASH запитує сегмент, кеш перевіряється, щоб побачити, чи сегмент уже отримано. Якщо ні, сегмент отримується за допомогою HTTP за допомогою одноадресного каналу.

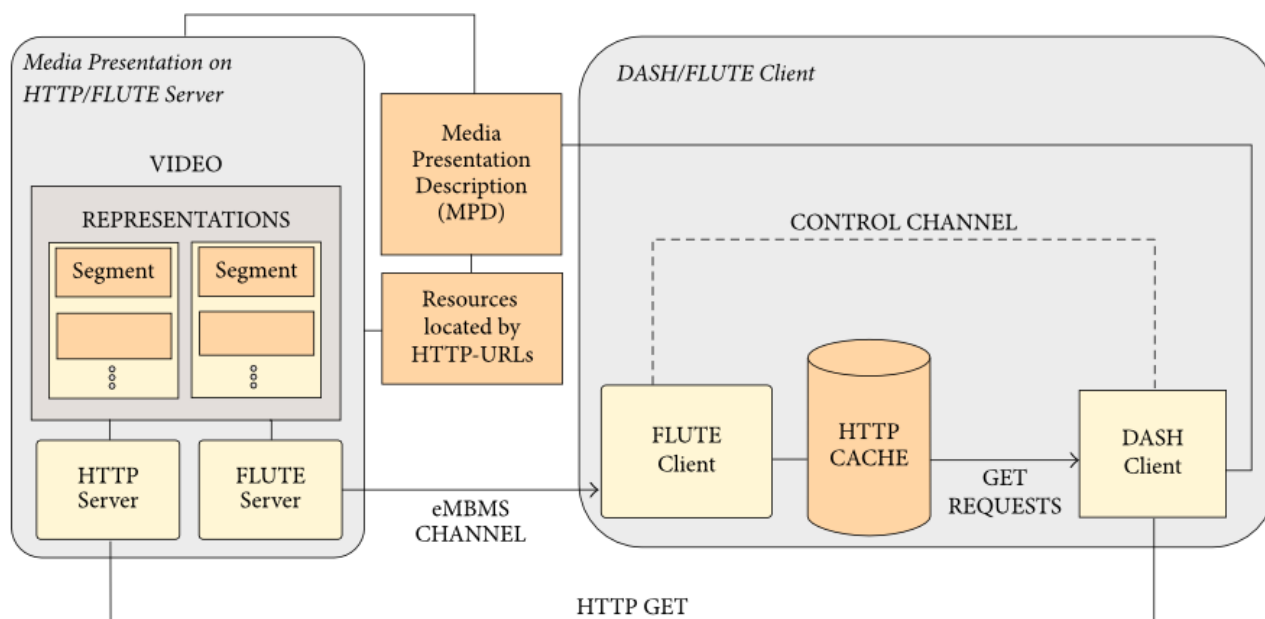


Рис. 3.1. Гібридна архітектура FLUTE/DASH

На рис. 3.1 показано компоненти, задіяні в доставці мультимедійних сегментів через eMBMS, і те, як HTTP використовується як одноадресний механізм відновлення.

Коли сегмент втрачається, а потім отримується за допомогою HTTP, доступна пропускна здатність в одноадресному каналі може бути нижчою за бітрейт представлення, надісланого через eMBMS. Таким чином, відтворення мультимедіа може призупинитися, якщо затримка, створена повторною одноадресною передачею сегмента, настільки велика, що сегмент неможливо отримати до того, як буфер буде спорожнено. У кваліфікаційній роботі пропонується механізм, який дозволяє вибирати альтернативні представлення у випадку сегментів які потрібно відновити за допомогою HTTP. Механізм заснований на проксі-сервері DASH, розташованому поблизу базової станції, тому представлення можна вибрати з урахуванням

пропускної здатності, яка виділяється для терміналу, що відновлює втрачений сегмент, таке адаптивне відновлення помилок дає змогу уникнути голодування буфера без збільшення затримки обслуговування.

3.2. Аналіз існуючих алгоритмів адаптації DASH

На цей час існують десятки пропозицій [16], що описують різні алгоритми адаптації DASH. Однак, наскільки нам відомо, жодна з них не стосується того, як алгоритм адаптації DASH може використовуватися в контексті мультимедійної трансляційної служби LTE. Більшість поточних пропозицій базується на методах пасивної оцінки пропускної здатності [17]. Пасивні методи не вводять додатковий трафік для оцінки доступної пропускної здатності. Натомість вони використовують час завантаження сегментів, уже завантажених за допомогою HTTP. У службі мультимедійного мовлення LTE використання часу завантаження сегментів неможливе, оскільки більшість сегментів отримується через канал eMBMS. Одне з можливих рішень полягало б у використанні вимірювань трафіку інших програм, що працюють у термінальному клієнті. Однак це може збільшити складність рішення, вимагаючи від клієнта DASH взаємодії з іншими програмами.

Інші роботи [18, 19] пропонують використання активних методів для адаптивних сервісів потокового відео на основі HTTP. Методи активного зондування складаються з надсилання фіктивних пакетів, які використовуються для оцінки пропускної здатності. Навіть якщо ці методи демонструють покращення деяких параметрів послуги (порівняно з використанням методів пасивної оцінки пропускної здатності), пропускна здатність використовується неефективно. Тому вони не підходять для послуг потокового передавання мультимедіа через мережі LTE. Де Фез і Геррі [20] пропонують адаптивний механізм для доставки мультимедійного вмісту в бездротових мережах. Він полягає в динамічній зміні величини надлишковості, яку вводить кодер AL-FEC відповідно до втрат, виявлених клієнтами в зоні покриття.

Вони зосереджені на службах доставки файлів, тому їхнє рішення не вимагає механізму одноадресного відновлення для відновлення даних, згенерованих у

режимі реального часу. Інші рішення, що дозволяють уникнути голодування буфера, пропонують збільшити початковий буфер, який використовується мультимедійними програвачами. Ломар та ін. [21] розрахували мінімальний рівень буфера, необхідний для забезпечення безперебійного відтворення мультимедійного вмісту. Однак вони зосереджені лише на послугах прямого ефіру на основі HTTP. Щодо служб потокової передачі мультимедіа через мережі LTE, А. El Essaili [23] пропонує скористатися перевагами проксі-сервера, розташованого поруч із базовою станцією, для покращення продуктивності потокових служб на основі DASH. В кваліфікаційній роботі також пропонується використовувати проксі, але в контексті мультимедійного мовлення LTE. G. K. Walker [24] запропонували новий протокол для мультимедійної трансляції, відомий як ROUTE. ROUTE є альтернативою FLUTE, який спочатку був розроблений як протокол доставки файлів.

3.3. Забезпечення безперервності послуги в мультимедійному мовленні LTE

У службі мультимедійного мовлення LTE лише одне представлення надсилається через канал eMBMS, і, отже, можна запитувати лише сегменти, що належать цьому представленню. Якщо сегмент втрачено в багатоадресному каналі, а затримка передачі для його відновлення через HTTP перевищує рівень буфера клієнта, програвач не зможе відобразити сегмент до кінцевого терміну відтворення, і він зупиниться. Мультимедійне представлення, надіслане через eMBMS, потрібно кодувати з бітрейтом, що відповідає максимальній швидкості передачі даних служби eMBMS. У типовій службі мультимедійного мовлення LTE швидкість передачі даних залежить від кількох параметрів, таких як обсяг радіоресурсів, виділених для послуги eMBMS, або використовується схема AL-FEC [16]. Багатоадресний сеанс може мати динамічно розподілену швидкість обслуговування [25], але можна припустити, що для мультимедійної трансляції швидкість передачі даних залишається постійною до завершення сеансу. Якщо сегмент втрачено під час його передачі через eMBMS, він відновлюється за допомогою HTTP за допомогою одноадресного каналу. Однак, на відміну від служби eMBMS, смуга пропускання в

каналі одноадресної передачі розподіляється динамічно. Максимальна швидкість передачі даних для одноадресної передачі залежить від схеми модуляції та кодування (MCS) і кількості радіоресурсів, виділених кожному клієнту. Останній визначається планувальником пакетів [26]. Базова станція вибирає MCS, який максимізує швидкість передачі даних для запланованого користувача з заданою цільовою ймовірністю помилки [26]. З цією метою термінали надсилають базовій станції звіт про якість каналу, який базується на вимірюваннях співвідношення сигнал/перешкода та шум (SINR) [27]. Щодо радіоресурсів, виділених клієнтам, планувальник пакетів використовує звіти про якість, надіслані користувачами разом з іншою інформацією вищих рівнів, такою як параметри QoS, стан буфера клієнтів або кількість користувачів у стільнику.

J. F. Monserrat та ін. [28] проаналізували вплив кількості користувачів на середню пропускну здатність одного одноадресного клієнта. Аналіз показує, що пропускну здатність одноадресного каналу може бути нижчою за пропускну здатність каналу eMBMS і, отже, нижчою за бітрейт представлення, надісланого через eMBMS. Сегменти, втрачені в багатоадресному каналі, можуть спричинити збій обслуговування та збільшення затримки обслуговування. На рис. 3.2 показано приклад збою в роботі служби. Щоразу, коли сегмент доступний для надсилання через eMBMS, він надсилається до локального кеша клієнтів. Час надходження мультимедійного сегмента через eMBMS було позначено як t_{mcast} .

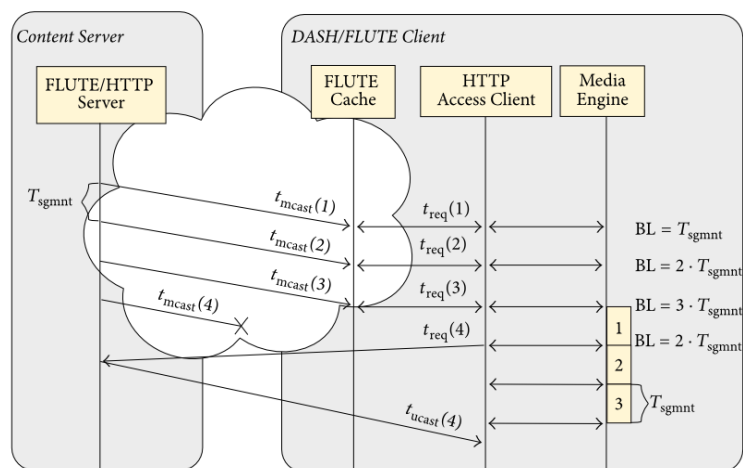


Рис. 3.2. Приклад збою обслуговування

На рис. 3.2 показано вплив затримки відновлення помилок через одноадресну передачу, яка є довшою за поточний буфер клієнта. У цьому прикладі втрата сегмента 4 спричиняє не доповнення буфера.

Як показано на рис. 3.2, новий сегмент передається через eMBMS кожні T_{sgmnt} секунди (тривалість мультимедійного сегмента). Сегменти 1, 2 і 3 правильно надходять через багатоадресний канал, тому їх можна отримати безпосередньо з кешу. Рисунок 3.2. показує, що ці сегменти запитуються мультимедійним програвачем у моменти t_{req} (1-3), коли очікується, що ці сегменти вже будуть доступні в кеші. Рівень буфера (BL) збільшується за T_{sgmnt} секунд кожного разу, коли сегмент отримується.

Початковий рівень буфера встановлюється з урахуванням значення поля `minBufferTime MPD` [11], яке визначає, скільки даних має зберігатися в буфері перед початком відтворення. На рис. 3.2 `minBufferTime` утричі перевищує тривалість сегмента ($3 * T_{sgmnt}$), тому відтворення починається з моменту t_{req} (3).

Коли сегмент 1 повністю відтворюється, починає відтворюватися сегмент 2, і водночас запитуються сегмент 4. Однак сегмент 4 втрачається в багатоадресному каналі. Час надходження мультимедійного сегмента через одноадресну передачу позначено як T_{sgmnt} . У цьому прикладі затримка відновлення помилки через одноадресну передачу перевищує подвійну тривалість сегмента ($2 * T_{sgmnt}$). Тому сегмент 4 надходить до t_{ucast} (4) після того, як програвач уже зупинився.

У наведеному вище прикладі збоїв у службі можна було б уникнути за допомогою довшого початкового буфера. Але натомість можна зосередитися на тому, як зменшити затримку одноадресного відновлення за допомогою механізму відновлення, який дозволяє перемикатися на представлення нижчої якості під час відновлення втрачених сегментів. Цей механізм можна використовувати для зменшення затримки, уникаючи збоїв у роботі служби.

Нижче наведено детальний опис запропонованого механізму адаптивного відновлення. Рішення враховує, що MPD повинен визначати кілька представлень. Проксі-сервер DASH буде знати про ці представлення та вибере той, який відповідає смузі пропускання, виділеній терміналу базовою станцією.

3GPP визначає, як транслювати мультимедійний вміст через LTE [12]. Зокрема, він визначає файл метаданих, відомий як User Service Bundle Description (USBD), який описує службу eMBMS. USBD належать до файлу MPD, який визначає доступні представлення мультимедіа. Використовуючи деякі поля USBD, можна вказати, яке подання доступне лише для широкомовних послуг, які доступні лише для одноадресного доступу, а які доступні як для одноадресного, так і для широкомовного приймання. Таким чином, стандарт визначає механізм прикладного рівня, який дозволяє поєднувати односпрямовану доставку сегментів із відновленням HTTP втрачених сегментів.

Незалежно від використовуваного механізму, проксі-сервер DASH, який запропоновано, може використовувати цю інформацію для вибору представлень нижчої якості, таким чином уникаючи збоїв у роботі служби.

3.4. Адаптивний проксі-сервер DASH для відновлення після помилок

Перевага використання проксі-сервера DASH, розташованого поруч із базовою станцією, полягає в тому, що він може заздалегідь отримати інформацію про те, яка пропускна здатність буде виділена кожному клієнту [23]. Таким чином, для кожного сегмента, який необхідно відновити клієнту, проксі-сервер може вибрати найбільш адекватне представлення.

На рис. 3.2 показано процедуру, яка виконується для відновлення HTTP сегментів, втрачених у багатоадресному каналі. У службі потокового передавання на основі DASH програвач періодично запитує сегменти, коли вони генеруються сервером вмісту. Час, коли новий сегмент стає доступним, щоб його можна було запросити, визначається полем `availabilityStartTime` файлу MPD [11]. У службі

мультимедійного мовлення LTE можна налаштувати `availabilityStartTime`, щоб гарантувати, що сегмент буде доступним у локальному кеші до того, як його запитуватимуть через HTTP [22].

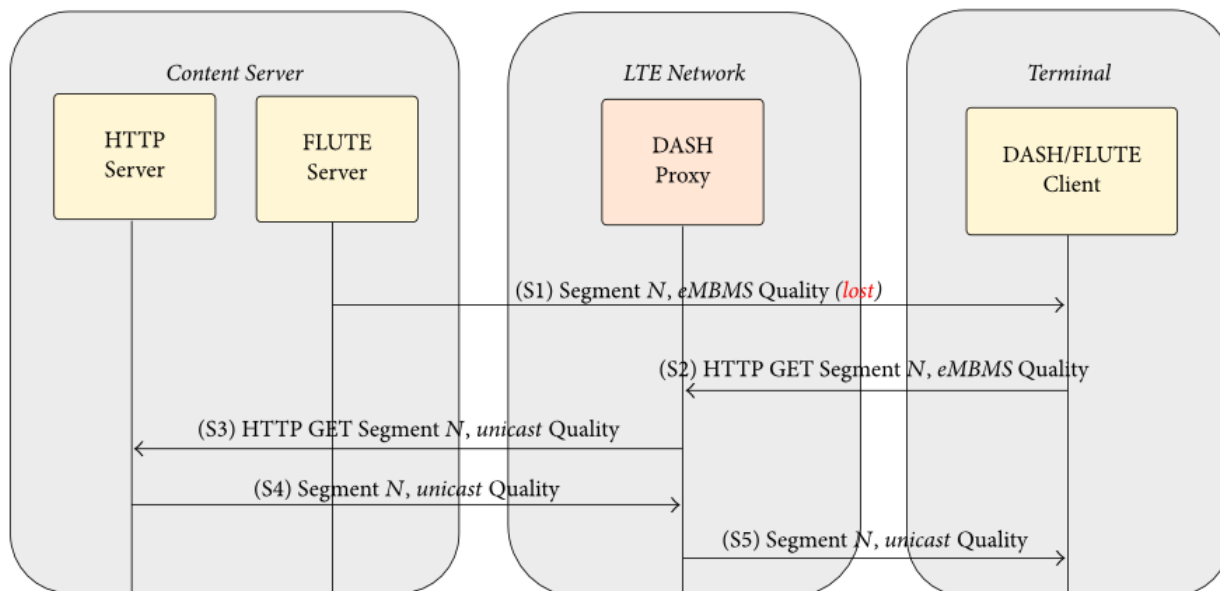


Рис. 3.3. Адаптивний механізм відновлення на основі проксі.

На рисунку показано, як проксі-сервер вибирає альтернативне представлення, коли втрачений сегмент відновлюється за допомогою HTTP.

Коли новий сегмент генерується на сервері вмісту, він надсилається через канал eMBMS за допомогою протоколу FLUTE (S1). Сегмент, закодований із бітрейтом, який відповідає пропускній здатності каналу багатоадресної передачі (якість eMBMS), надсилається на всі термінали, підключені до послуги eMBMS. На рис. 3.2 показано, що сегмент втрачено в багатоадресному каналі через помилки передачі, тому його потрібно відновити за допомогою HTTP.

Усі HTTP-запити проходять через проксі-сервер DASH, який запускає алгоритм адаптації для відновлення сегментів. Незважаючи на те, що клієнт запитує URL-адресу сегмента eMBMS (S2), проксі-сервер DASH може вибрати представлення нижчої якості (якість одноадресної передачі) для своєї передачі по каналу одноадресної передачі (S3). Якщо пропускна здатність, доступна в одноадресному каналі, більша або дорівнює бітрейту представлення eMBMS, проксі DASH не потрібно змінювати URL-адресу, яку запитує клієнт. Нарешті, запитаний

проксі-сервером сегмент надсилається клієнту (S4-5). Метою адаптивного алгоритму відновлення помилок, що виконується проксі-сервером DASH, є уникнення збоїв у обслуговуванні шляхом вибору для кожного сегмента представлення, яке може бути отримані перед буферним голодуванням.

3.5. Підходи до проєктування проксі

Використання проксі в контексті послуг мультимедійного мовлення LTE відкриває можливість розробки різних алгоритмів адаптації. У цій статті було обрано два різні підходи, зосереджені на тому, як розв'язувати проблему нестачі смуги пропускання в радіоканалі LTE.

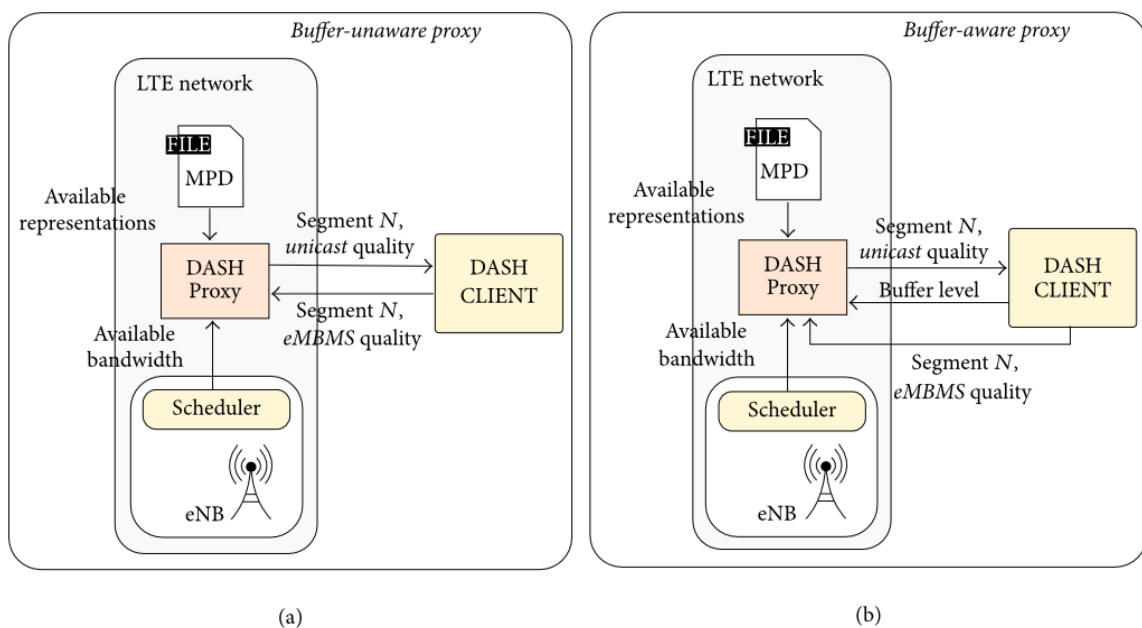


Рис. 3.3. Дві можливі конструкції проксі-сервера LTE DASH: проксі-сервер без буфера (a) і проксі-сервер з підтримкою буфера (b)

Проксі-сервер, який не підтримує буфер, отримує запит HTTP на втрачений сегмент від програвача та вибирає мультимедійне представлення, бітрейт якого відповідає доступній пропускній здатності одноадресної передачі для терміналу, який надсилає запит. Таким чином, можна уникнути браку буфера, якщо пропускну здатності недостатньо для завантаження сегмента, закодованого з якістю eMBMS. Як

показано на рис. 3.3(a), клієнт DASH запитує той самий сегмент, який надсилається через eMBMS. Потім проксі-сервер DASH вибирає більш адекватне представлення, враховуючи кількість і бітрейт представлень, визначених у файлі MPD, а також обсяг пропускної здатності, який буде виділено клієнту.

Файл MPD отримує проксі-сервер на початку сеансу потокового передавання. Що стосується одноадресної смуги пропускання, призначеної для кожного клієнта, проксі-сервер DASH отримає її від базової станції. Таким чином, вибір представлення, яке буде позначено як $B_{unaware}$, визначається як

$$B_{unaware} = \arg \arg B_k, \quad (3.1)$$

за умови $B_k < BW_{unicast}$

де B_k — бітрейт k-го представлення, а $BW_{unicast}$ — доступна пропускна здатність одноадресної передачі.

Мета цього вибору полягає в тому, щоб затримка одноадресної передачі сегмента була нижчою за тривалість сегмента, щоб його можна було завантажити до завершення того, що зараз відтворюється. У цьому випадку проксі-сервер DASH уникне виснаження буфера, якщо MPD включає представлення, бітрейт якого нижчий за доступну пропускну здатність одноадресної передачі.

На рис. 3.3(b) показаний другий підхід до розробки проксі-сервера DASH. Кілька сегментів повинні бути збережені в буфері клієнта перед початком відтворення мультимедійного вмісту. Щоразу, коли запитується сегмент, клієнт надсилає поточний рівень буфера за секунди (BL) до проксі-сервера DASH. Беручи до уваги статус буфера, проксі-сервер, що підтримує буфер, може вибрати представлення eMBMS, навіть якщо його бітрейт перевищує доступну пропускну здатність. Алгоритм адаптації, який пропонується, складається з вибору якості eMBMS (B_{eMBMS}), якщо очікується, що затримка відновлення помилки сегмента (D_{ucast}) буде нижчою за поточний рівень буфера клієнта. В іншому випадку буфер не розглядається, а проксі-сервер, який не знає буфера, відповідає за вибір найбільш

адекватного представлення (D_{ucast}). Оскільки розглядається проблема нестачі смуги пропускання в радіоканалі LTE, можна припустити, що основним компонентом затримки відновлення є затримка передачі мультимедійного сегмента. Таким чином, D_{ucast} можна розрахувати як

$$D_{ucast} = \frac{B_{eMBMS} * T_{sgmnt}}{BW_{unicast}}, \quad (3.2)$$

Маючи це на увазі, представлення, вибране проксі-сервером, що підтримує буфер (B_{aware}), надається як

$$B_{aware} = \left\{ B_{eMBMS}, D_{ucast} \leq BL \quad B_{unaware}, D_{ucast} > BL \right\}, \quad (3.3)$$

3.6. Оцінка продуктивності проксі-сервера DASH у контексті мультимедійної трансляційної служби LTE

Оскільки використання проксі-сервера DASH дозволяє уникнути збоїв в обслуговуванні, пропозиція оцінюється лише з урахуванням таких показників QoE: нестабільність і середня якість сегмента. У цьому випадку послуга характеризується представленням відео зі швидкістю 1 Мбіт/с, яке надсилається через eMBMS, і двома додатковими представленнями (250 Кбіт/с, 500 Кбіт/с), які можна запитати у разі відновлення помилки одноадресної передачі. На рис. 3.4 показано середню нестабільність для різних значень minBufferTime і доступної одноадресної пропускної здатності.

Вибраний діапазон пропускної здатності починається з 300 Кбіт/с, тобто трохи перевищує представлений мінімальний бітрейт. Максимальна пропускна здатність становить 1000 Кбіт/с, що є бітрейтом представлення eMBMS. Оцінка була проведена для двох альтернатив, визначених для проксі: з підтримкою буфера та без урахування буфера.

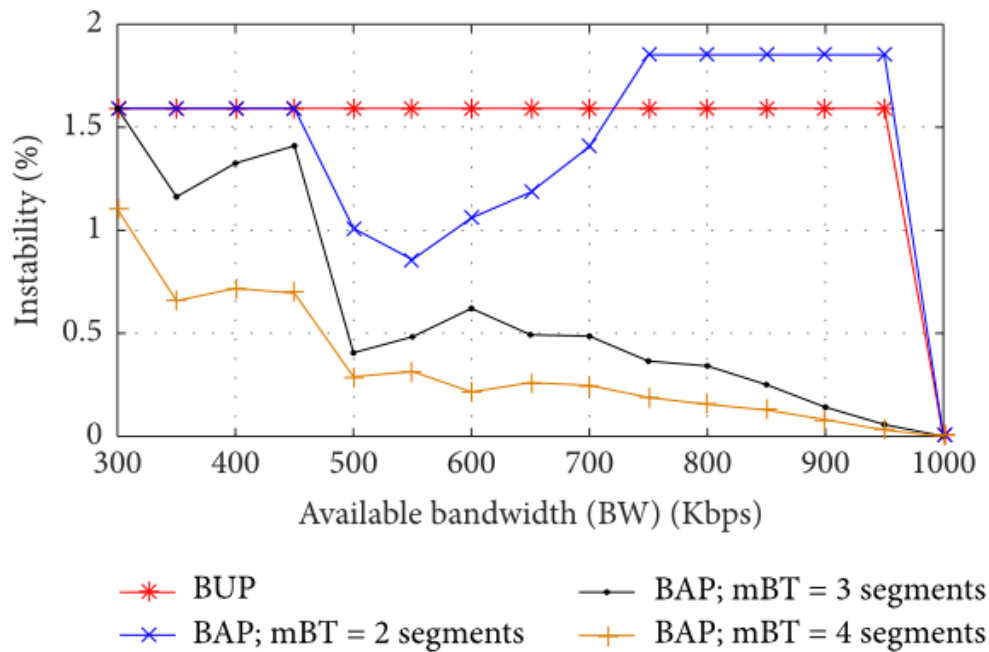


Рис. 3.4. Відображення нестабільності під час використання проксі-сервера без підтримки буфера (BUP) або проксі-сервера з підтримкою буфера (BAP)

Нестабільність розраховується для різних значень пропускної здатності одноадресної передачі та `minBufferTime` (mBT). Результати наведено для коефіцієнта коду AL-FEC 0,78.

Результати показують, що коли доступна пропускна здатність нижче 1 Мбіт/с, нестабільність залишається постійною для проксі-сервера, який не підтримує буфер. Причина полягає в тому, що кожного разу, коли сегмент втрачається, проксі-серверу потрібно вибрати інше представлення, відмінне від того, що надсилається через eMBMS. Щодо використання проксі-сервера з підтримкою буфера, як показано на рис. 3.4, нестабільність може прогресувати зменшено до 0% для більших смуг пропускання та значень `minBufferTime` трьох і чотирьох сегментів. На рис. 3.5 показано, як проксі-сервер, що підтримує буфер, зі значенням `minBufferTime` у два сегменти може бути гіршим, ніж проксі-сервер, що не підтримує буфер. Це тому, що два сегменти є надто коротким буфером, тому запит якості eMBMS за допомогою «кредиту» буфера спричиняє більше перемикань. Нестабільність також залежить від кількості та бітрейту представлень, визначених у файлі MPD. Це пояснює

зменшення нестабільності для доступної пропускної здатності 500 Кбіт/с, що є бітрейтом, який використовується для одного з представлень DASH.

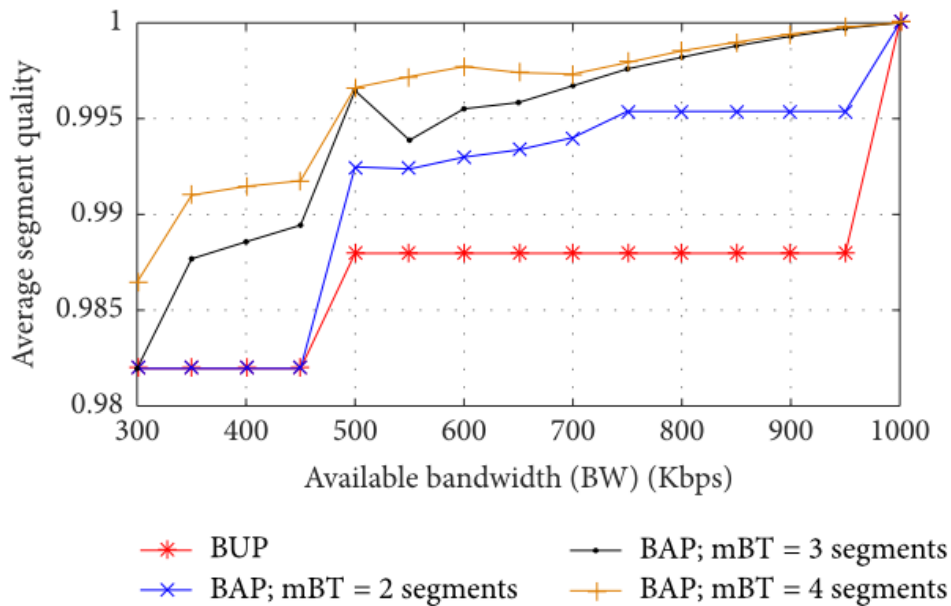


Рис. 3.5. Відображення середньої якості сегмента при використанні проксі-сервера без підтримки буфера (BUP) або проксі-сервера з підтримкою буфера (BAP)

Середня якість сегмента розраховується для різних значень пропускної здатності одноадресної передачі та `minBufferTime` (mBT). Результати наведено для коефіцієнта коду AL-FEC 0,78.

Оскільки MPD не визначає проміжне представлення між представленням, закодованим на 500 Кбіт/с, і тим, що закодовано на 1 Мбіт/с, нестабільність може збільшитися для пропускної здатності, яка трохи перевищує 500 Кбіт/с. Однак, коли пропускна здатність наближається до 1 Мбіт/с, буфер часто достатньо довгий, щоб компенсувати затримку запиту представлення eMBMS, тому перемикання зменшується. На рисунку 3.5 показано середню якість сегмента для різних значень `minBufferTime` і доступної одноадресної пропускної здатності. Середня якість сегмента вимірюється щодо якості представлення, надісланого через eMBMS. На рис. 3.5 показано, що для зображеного найгіршого випадку (враховуючи пропускну здатність одноадресної передачі, що дорівнює 300 Кбіт/с, і `minBufferTime` для одного мультимедійного сегмента) середня якість сегмента становить приблизно 0,98. Отже,

немає значного погіршення якості відео щодо максимум, якого можна досягти, якщо всі сегменти правильно доставлено через eMBMS. Це узгоджується зі значенням лише 2% сегментів, які відновлюються HTTP.

На рис. 3.5 показано, що використання `minBufferTime` із чотирьох сегментів може допомогти підвищити середню якість сегмента до значення, близького до бітрейту представлення надіслано через eMBMS. Однак це підвищення середньої якості сегмента також передбачає збільшення затримки обслуговування до 8 с. На рисунку також показано, що середня якість сегмента, досягнута проксі-сервером, що підтримує буфер, не значно перевищує середню якість сегмента, досягнута проксі-сервером, що не підтримує буфер. Підсумовуючи, як проксі-сервер, який не підтримує буфер, так і проксі-сервер, що не підтримує буфер уникнути збоїв в обслуговуванні. Проксі-сервер із підтримкою буфера може бути корисним для мінімізації нестабільності та максимізації середньої якості сегмента. Однак використання проксі-сервера з підтримкою буфера ускладнює рішення, оскільки вимагає від програвача надсилання рівня буфера для кожного запиту HTTP до проксі-сервера. Це вимагає модифікації мультимедійних програвачів, щоб вони могли надсилати HTTP-запит разом із додатковою інформацією, вимірною програмою. Перевага проксі-сервера, який не підтримує буфер, полягає в тому, що він забезпечує мінімальну затримку обслуговування, не вимагаючи жодних змін у мультимедійних програвачах. Крім того, це не значно збільшує вплив на нестабільність і середню якість сегмента порівняно з проксі-сервером, що підтримує буфер.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Мультимедійні послуги через мобільні мережі викликають кілька проблем, наприклад забезпечення надійної доставки мультимедійного вмісту, уникнення небажаних збоїв у роботі служби або зменшення затримки обслуговування. Адаптивна потокова передача HTTP вирішує ці проблеми для мультимедійних одноадресних послуг, але вона не ефективна з точки зору споживання радіоресурсів.

У мережах Long-Term Evolution (LTE) послуги мультимедійного мовлення надаються через загальний радіоканал із використанням комбінації методів прямого виправлення помилок і одноадресних методів відновлення помилок на прикладному рівні. В третьому розділі показано, як уникнути перебоїв у службі та зменшити затримку послуги для послуг мультимедійного мовлення LTE шляхом додавання можливостей динамічної адаптації до процесу відновлення помилок одноадресної адреси. Пропоноване рішення забезпечує безперебійне мобільне мультимедійне мовлення без шкоди для якості послуги, що сприймається користувачами.

Підсумовуючи, проксі-сервер із підтримкою буфера може бути корисним для мінімізації нестабільності та максимізації середньої якості сегмента. Однак використання проксі-сервера з підтримкою буфера ускладнює рішення, оскільки вимагає від програвача надсилання рівня буфера для кожного запиту HTTP до проксі-сервера, саме це вимагає модифікації мультимедійних програвачів, щоб вони могли надсилати HTTP-запит разом із додатковою інформацією, виміряною програмою. Перевага проксі-сервера, який не підтримує буфер, полягає в тому, що він забезпечує мінімальну затримку обслуговування, не вимагаючи жодних змін у мультимедійних програвачах. Крім того, це не значно збільшує вплив на нестабільність і середню якість сегмента порівняно з проксі-сервером, що підтримує буфер.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було запропоновано механізм, який вирішує проблеми забезпечення надійної доставки мультимедійного вмісту, уникнення небажаних збоїв у роботі служби та зменшення затримки обслуговування. Адаптивна потокова передача HTTP теж вирішує ці проблеми для мультимедійних одноадресних послуг, але вона не ефективна з точки зору споживання радіоресурсів.

У мережах Long-Term Evolution (LTE) послуги мультимедійного мовлення надаються через загальний радіоканал із використанням комбінації методів прямого виправлення помилок і одноадресних методів відновлення помилок на прикладному рівні. У кваліфікаційній роботі показано, як уникнути перебоїв у службі та зменшити затримку послуги для послуг мультимедійного мовлення LTE шляхом додавання можливостей динамічної адаптації до процесу відновлення помилок одноадресної адреси. Пропоноване рішення забезпечує безперебійне мобільне мультимедійне мовлення без шкоди для якості послуги, що сприймається користувачами.

У службах потокового передавання в прямому ефірі важливим параметром якості обслуговування є затримка обслуговування, яка визначається як різниця між часом, коли відбувається подія в прямому ефірі, і часом, коли подія в прямому ефірі відтворюється на приймальному терміналі. Зменшивши затримки буферизації, затримку служби можна мінімізувати. Однак у типовій службі мультимедійного мовлення Long-Term Evolution (LTE) необхідна буферизація, щоб уникнути перебоїв у роботі служби.

Запропонований механізм дозволяє вибирати альтернативні представлення у випадку сегментів які потрібно відновити за допомогою HTTP. Механізм заснований на проксі-сервері DASH, розташованому поблизу базової станції, тому представлення можна вибрати з урахуванням пропускну здатності, яка виділяється

для термінала, що відновлює втрачений сегмент, це адаптивне відновлення помилок дає змогу уникнути голодування буфера без збільшення затримки обслуговування.

Проксі-сервер може дізнатися доступну пропускну здатність одноадресного каналу від базової станції та вибрати найбільш відповідне представлення для кожного сегмента. В результаті оцінки продуктивності проксі-сервера DASH у контексті мультимедійної трансляційної служби LTE, можна зробити висновок, що проксі-сервер із підтримкою буфера можна використовувати для покращення нестабільності та середньої якості сегмента. Однак проксі-сервер, який не підтримує буфер, менш складний і може забезпечити мінімальну затримку для служби. Альтернативні підходи для проксі-серверів, що використовують різні алгоритми адаптації в контексті послуг мультимедійного мовлення LTE, підлягають подальшому вивченню. Впровадження проксі-сервера для перевірки пропозиції в реальному середовищі є ще одним майбутнім кроком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Multimedia Signal Coding and Transmission / Jens-Rainer Ohm, Springer-Verlag - Aachen, 2019. - pp. 563.
2. Multimedia Tools and Applications / Hao Chen, Yueqi Ouyang, Wen Jiang - 2018, Vol. 75 - pp. 15571.
3. Research on application of multimedia image processing technology. J Image Video Proc. / Kun Sui, Hyung-Gi Kim - 2019. - pp. 24.
4. 3rd Generation Partnership Project (3GPP). 3GPP specifications. URL: <http://www.3gpp.org/specifications>. (дата звернення 13.04.2023)
5. Arapinis, M., Mancini, L., Ritter, E., Ryan, M., Golde, N., Redon, K., Borgaonkar, R. New Privacy Issues in Mobile Telephony: Fix and Verification. : 920 Proceedings of the 2019 ACM Conference on Computer and Communications Security. CCS '19. ACM, New York, USA - 2019. - pp. 205-216.
6. Ben Henda, N., Norrman, K., Formal Analysis of Security Procedures in LTE - A Feasibility Study. : Stavrou, A., Bos, H., Portokalidis, G. (Eds.), Research in Attacks, Intrusions and Defenses. Vol. 8688 of Lecture Notes in Computer Science. 925 Springer International Publishing, - 2020. - pp. 341–361.
7. Bettassa Copet, P., Marchetto, G., Sisto, R., Costa, L., Formal Verification of LTE-UMTS Handover Procedures. : Computers and Communication (ISCC), IEEE Symposium, - July 2021. – pp. 95.
8. 3GPP TS 26.234: Transparent end-to-end packet switched streaming service (PSS); Protocols and codecs; released 2018-10; France, 2018. pp. 123.
9. 3GPP TS 26.244: Transparent end-to-end packet switched streaming service (PSS); 3GPP file format (3GP); released 2018-07; France, 2018. pp. 45.
10. OIPF Specification Volume 2a - HTTP Adaptive Streaming, URL: <https://oipf.tv/> (date of access 15.04.2023).
11. ISO/IEC, Information technology—dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) - part 1: media presentation description and segment formats, ISO/IEC 23009-1, 2019. pp. 97.

12. Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS), Protocols and Codecs, 3GPP TS 26.346 v13.4.0, 2021. pp. 165.
13. T. Paila, R. Walsh, M. Luby, V. Roca, and R. Lehtonen, “FLUTE—file delivery over unidirectional transport,” IETF RFC 6726, 2012. pp 34.
14. C. Bouras, N. Kanakis, V. Kokkinos, and A. Papazois. AL-FEC for streaming services over LTE systems : Proceedings of the 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications: Communications, Networking and Applications for the Internet of Things (WPMC '18), Brest, France, October 2018. - pp. 1–5.
15. C. M. Lentisco, L. Bellido, A. de la Fuente, E. Pastor, R. Perez Leal, and A. Garcia Armada, A model to evaluate MBSFN and AL-FEC techniques in a multicast video streaming service, : Proceedings of the IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, Larnaca, Cyprus, 2018. - pp. 691–696,
16. A survey on quality of experience of HTTP adaptive streaming, IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 17, no. 1 / M. Seufert and others, 2020., pp. 469–492
17. Survey of bandwidth estimation techniques in communication networks, Wireless Personal Communications, vol. 83, no. 2 / S. S. Chaudhari and R. C. Biradar, 2020., pp. 1425–1476.
18. K. Lazic, I. Basiccevic, and J. Kovacevic. Bandwidth estimation in adaptive video streaming over HTTP : Proceedings of the IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE '21), Las Vegas, Nev, USA, January 2021. pp. 62–65.
19. D. Yun, K. Chung, and J. Hong. Efficient bandwidth estimation for HTTP adaptive streaming : Proceedings of the 28th International Conference on Information Networking (ICOIN '18), Phuket, Thailand, February 2018., pp. 464–468.
20. I. De Fez and J. C. Guerri. An adaptive mechanism for optimal content download in wireless networks, IEEE Transactions on Multimedia, 2019. Vol. 16, no. 4, pp. 1140–1155.

21. T. Lohmar, T. Einarsson, P. Fröjdh, F. Gabin, and M. Kampmann. Dynamic adaptive HTTP streaming of live content : Proceedings of the IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM '18), June 2018., pp. 5.
22. C. M. Lentisco, L. Bellido, and E. Pastor. Reducing latency for multimedia broadcast services over mobile networks, *IEEE Transactions on Multimedia*, 2022. Vol. 19, no. 1, pp. 173–182.
23. A. El Essaili, D. Schroeder, E. Steinbach, D. Staehle, and M. Shehada. QoE-based traffic and resource management for adaptive HTTP video delivery in LTE, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2021. Vol. 25, no. 6, pp. 988–1001.
24. G. K. Walker, T. Stockhammer, G. Mandyam, Y.-K. Wang, and C. Lo. ROUTE/DASH IP streaming-based system for delivery of broadcast, broadband, and hybrid services, *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2022. Vol. 62, no. 1, pp. 328–337.
25. A. De La Fuente, A. G. Armada, and R. P. Leal. Joint Multicast/Unicast Scheduling with dynamic optimization for LTE multicast service : Proceedings of the 20th European Wireless Conference (EW '19), 2019., pp. 462–467.
26. S. N. Donthi and N. B. Mehta. An accurate model for EESM and its application to analysis of CQI feedback schemes and scheduling in LTE, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2018. Vol. 10, no. 10, pp. 3436–3448.
27. M. Seyedehbrahimi, X.-H. Peng, and R. Harrison. A quality driven framework for adaptive video streaming in mobile wireless networks : Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '19), Istanbul, Turkey, 2019., pp. 2994–2999.
28. J. F. Monserrat, J. Calabuig, A. Fernández-Aguilella, and D. Gómez-Barquero. Joint delivery of unicast and E-MBMS services in LTE networks, *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2018. Vol. 58, no. 2, pp. 157–167.