

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.397.13

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

ЕЦК Б.А.Келли
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 14 ” 12 2018 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціальності)

за спеціалізацією Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

на тему: Передача відеопотоку, стисненого кодом H.265/HEVC,
через 4G-сільову мережу

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи Р1-71м

(шифр групи)

Аврамук Катерина Андріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник професор, д.т.н. Уваров Б.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.

(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доктор наук, с.н.с. Степанов М.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент Аврамук Катерина Андріївна
(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

За спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

За спеціалізацією Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М.М. Е. А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » вересня 2017р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Аврамчук Микола Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Передача відеопотоку стисненого кодом
H.265/HEVC через 4G стільникову мережу

науковий керівник дисертації Уєров Борис Михайлович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 6 » 11 2018 р. № 40990

2. Строк подання студентом дисертації 30 жовтня 2018 року

3. Об'єкт дослідження процес передачі відеопотоку

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за
освітньо-професійною програмою) характеристики і параметри
процесу передачі відео

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Розробка комп'ютерної моделі передачі даних в 4G мережі за допомогою комп'ютерного моделювання. 2. Розробка графіку моделі H.265/HEVC. 3. Розробка алгоритму створення з'єднання. 4. Розробка програмного коду для організації відеотрансляції через мережу Інтернет.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу 1. Алгоритм стиснення відео кодом H.265/HEVC Презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій Алгоритм стиснення відео кодом H.265/HEVC

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З охорони праці	Каштанов С.Ф., доцент		

9. Дата видачі завдання 30 вересня 2017 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналітичний огляд	10. 2017	
2.	Досл. алгоритму моделювання	09. 2018	
3.	Програмна реалізація алг. відео.	10. 2018	
4.	Комп. моделювання LTE-мер.	11. 2018	
5.	Оформлення мет. дисер.	12. 2018	

Студент

[Підпис]
(підпис)

Абрамуш М.А.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

[Підпис]
(підпис)

Абрамуш Сергій Б.М.
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Структура й обсяг дипломної роботи

Магістерська дисертація: 94 с., 30 рис., 42 табл. 3 додатка, 10 джерел.

Ключові слова. КОДУВАННЯ ВІДЕО, МЕРЕЖА, ОПТИМІЗАЦІЯ, LTE, H.265/HEVC

Актуальність теми. В процесі передачі відеосигналу постійно виникає обмеженість ресурсами пропускної спроможності, актуальним є оптимізація процесу для кращого прийому користувачем.

Мета дослідження. Метою роботи є оптимізація передачі відеосигналу, використовуючи новітні технології.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані такі **завдання дослідження**, що визначили логіку дослідження та його структуру: дослідити методи передачі відеосигналу різних стандартів; створити програмну модель передачі та за допомогою сучасної мови програмування розробити оптимізацію цього процесу;

Об'єкт дослідження — якість відеосигналу у користувача.

Предмет дослідження — показники якості відеосигналу.

Методи дослідження: При вирішенні задачі застосовувались наступні методи: комп'ютерне моделювання мережі LTE в програмному забезпеченні LTE-SIM, комп'ютерне моделювання на основі відкритих бібліотек FFmpeg.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна полягає в методі передачі відеосигналу, що відрізняється від інших методів стандартом передачі і стандартом кодування відео.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в створенні програмного забезпечення, що може передавати відео потік HEVC по мережі інтернет.

ABSTRACT

Structure and volume of thesis

Master dissertation: 94 p., 30 fig., 42 tabl., 3 application, 10 sources.

Relevance of the topic. In the process of transmitting a video, there is always a lack of bandwidth resources, the optimization of the process for better reception by the user.

The aim of the study. The aim of the work is to optimize the transmission of video signals using the latest technology.

To accomplish this goal, the following research objectives were formulated, which determined the logic of the research and its structure: to study the methods of transmission of video signals of different standards; create a programmatic transmission model and, with the help of modern programming language, develop optimization of this process;

Object of research: quality of the video signal from the user.

Subject of research: video quality indicators.

Research methods: The following methods were used to solve problems: software modeling of LTE network in LTE–SIM software, computer modeling on the basis of open–source libraries FFMpeg.

Scientific novelty of the obtained results. The scientific novelty lies in the method of video transmission, which differs from other methods by the standard of transmission and the standard video encoding.

The practical value of the results obtained is to create a software that can transmit the video stream HEVC over the Internet.

Keywords. CODING VIDEO, NETWORK, OPTIMIZATION, LTE, H.265 / HEVC.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської дисертації

на тему: Передача відео потоку стандарту H.265/HEVC через 4G
стільникові мережі.

Київ — 2018 року

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 СТАНДАРТИ КОДУВАННЯ ВІДЕОСИГНАЛУ. МЕРЕЖА LTE...	10
1.1 H.264/AVC відео стандарт	10
1.2 H.265/HEVC відео стандарт.....	13
1.3 Мережа LTE.....	18
1.4 Схеми передачі LTE.....	22
1.5 Планувальник (Scheduler)	24
2 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ТА РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ	28
2.1 Порівняння вимог пропускної здатності	28
2.2 Ефект максимально дозволеної затримки та кількості користувачів у мережі	33
2.3 Вплив відстані між обладнанням користувача та базовою станцією	39
2.4 Оцінка продуктивності алгоритму пропускання кадрів	44
3 ПОТОКОВЕ ВІДЕО ЗАСОБАМИ FFSERVER ТА FFMPEG	51
3.1 Опис технології	51
3.2 Запуск серверу ffmpeg	54
3.3 Запуск FFMpeg	55
3.4 Медіаплеєр ffmpeg	57
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	59
4.1 Опис ідеї проекту	59
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	60

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту	61
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	65
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап–проекту	66
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
4.6 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково–дослідної роботи.	69
4.7 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.	70
4.7.1 Електробезпека.....	70
4.7.2 Правила безпеки під час експлуатації електронно–обчислювальних машин	72
4.7.3 Вимоги до приміщень в яких розміщені ВДТ ПВДТ ПЕОМ..	72
4.7.4 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам.....	75
4.7.5 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин.	76
4.7.6 Виробничий шум.....	76
4.8 Безпека в надзвичайних ситуаціях	77
4.8.1 Обов’язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації	78
4.8.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.	79
4.8.3 Пожежна безпека.....	81
ВИСНОВКИ.....	83

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	84
ДОДАТОК А.....	85
ДОДАТОК Б ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ.....	89

Аврамук М. А., РІ-71МП, 2018

ВСТУП

Передача відеосигналів у стільниковій мережі практично щодня використовується нами в повсякденному житті, бо всі напевне користуються такими сервісами перегляду відеострімів як Youtube, Instagram, Periscope, Ustream, Twitch. А обмеження ресурсами пропускної здатності мережі змушує лише дратуватися із-за поганої якості контенту який ми переглядаємо.

В процесі передачі сигналів, постійно виникає необхідність або збільшення смуги пропускання каналу, або зменшення об'єму даних які ми передаємо, і звичайно ж падіння якості цього сигналу.

З введенням в роботу в Україні 2018 року нового мобільного протоколу передавання даних 4G LTE, стандарту з вдосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості з'явилась реальна можливість покращити якість передачі сигналів.

Дисертаційна робота магістра виконувалась у КПІ ім. Ігоря Сікорського у відповідності з планом наукових досліджень кафедри радіоконструювання і виробництва радіоелектронної апаратури.

1 СТАНДАРТИ КОДУВАННЯ ВІДЕОСИГНАЛУ. МЕРЕЖА LTE

1.1 H.264/AVC відео стандарт

H.264 – стандарт стиснення відео. Його використовують для стиснення відео в інтернеті, на Blu-ray, телефонах, камерах спостереження, дронах, всюди. Не можна не відзначити технологічність H.264. Він з'явився в результаті 30-ти років роботи з однією єдиною метою: зменшення необхідної пропускної здатності каналу для передачі якісного відео.

Навіщо взагалі стискати що-небудь?

Відео в стислому вигляді це послідовність двовимірних масивів, що містять інформацію про пікселі кожного кадру. Таким чином це тривимірний (2 просторових виміри і 1 тимчасовий) масив байтів. Кожен піксель кодується трьома байтами – один для кожного з трьох основних кольорів (червоний, зелений і синій).

$1080p @ 60 Hz = 1920 \times 1080 \times 60 \times 3 \Rightarrow \sim 370 \text{ Мб} / \text{с даних}$.

Цим практично неможливо було б користуватися. Blu-ray диск на 50Гб міг би вміщати всього близько 2 хв. відео. З копіюванням так само буде не легко. Навіть у SSD виникнуть проблеми із записом з пам'яті на диск. Тому так, стискання необхідно.

H.264, як і всі алгоритми стиснення з втратами, зменшує деталізацію. На рис. 1.1, порівняння зображень до і після позбавлення від деталей.

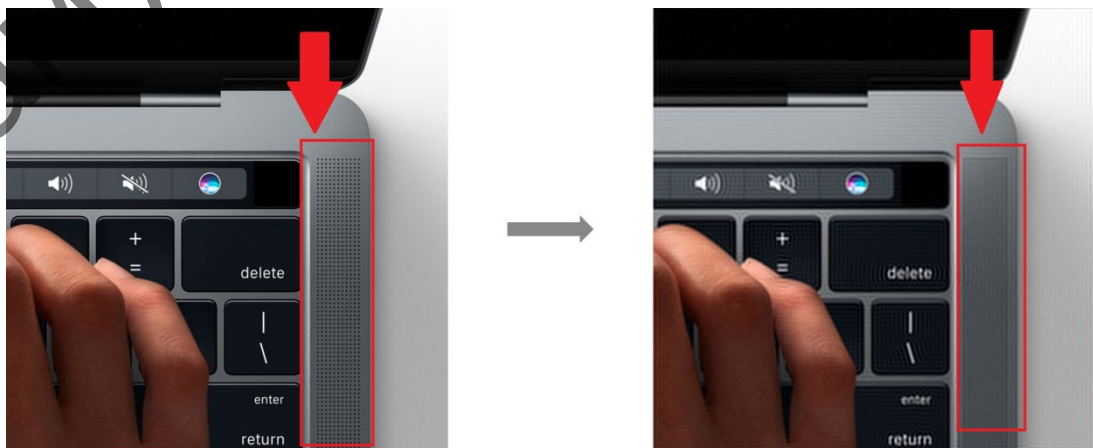


Рисунок 1.1

На стислому зображенні зникли отвори в решітці динаміка у MacBook Pro? Якщо не наближати, то можна і не помітити. Зображення праворуч важить всього 7% від вихідного і це при тому, що стиснення в традиційному сенсі не було.

Людське око не особливо добре розрізняє близькі відтінки кольору. Можна легко розпізнавати найменші відмінності в яскравості, але не кольору. Тому повинен існувати спосіб позбавлення від зайвої інформації про колір і заощадити ще більше місця.

У телевизорах, кольору RGB перетворюються в YCbCr, де Y це компонента яскравості (по суті яскравість чорно-білого зображення), а Cb і Cr компоненти кольору. RGB і YCbCr еквіваленти в плані інформаційної ентропії. За часів чорно-білих телевизорів, була тільки компонента Y. А з початком появи кольорових телевизорів у інженерів постало завдання про передачу кольорового RGB зображення разом з чорно-білим. Тому замість двох каналів для передачі, було вирішено кодувати колір в компоненти Cb і Cr і передавати їх разом з Y, а кольорові телевізори вже самі будуть перетворювати компоненти кольору і яскравості в звичний їм RGB.

Але ось в чому хитрість: компонента яскравості кодується в повному дозволі, а компоненти кольору лише в чверть. І цим можна знехтувати, тому що очі/мозок погано розрізняє відтінки. Таким чином можна зменшити розмір зображення в половину і з мінімальними відмінностями. Дана технологія кодування зображення зі зниженням колірного дозволу називається колірною субдискретизацією. Вона використовується повсюдно вже давно і відноситься не тільки до H.264. Це найвпливовіші технології в зменшенні розміру при стисненні з втратами. Вдалося позбутися від більшості деталізації і скоротити інформацію про колір в 2 рази.

А можна ще більше? Так. Обрізання картинки це лише перший крок. До цього моменту ми розбирали окремо взятий кадр. Настав час подивитися на стискання в часі, де нам належить працювати з групою кадрів.

H.264 стандарт, який дозволяє компенсувати рух.

H.264 розбиває зображення на макроблоки, зазвичай 16x16, які використовуються для розрахунку руху. Один кадр залишається статичним, зазвичай його називають I-кадр [Intra frame], і містить все. Наступні кадри можуть бути або P-кадри [predicted], або B-кадри [bi-directionally predicted]. В P-кадрах вектор руху кодується для кожного макроблоку на основі попередніх кадрів, таким чином декодер повинен використовувати попередні кадри, взявши останній з I-кадрів відео і поступово додаючи зміни наступних кадрів поки не дійде до поточного. Ще цікавіший стан справ з B-кадрами, в яких розрахунок проводиться в обох напрямках, на підставі кадрів що йдуть до і після них. При такій технології кодується тільки відмінності векторів руху, тим самим забезпечуючи високу ступінь стиснення будь-якого відео з переміщеннями.

Ми розглянули статичне і часове стиснення. За допомогою квантування ми в багато разів зменшили розмір даних, потім за допомогою кольорової субдискретизації ще вдвічі скоротили отримане, а тепер ще компенсацією руху добилися зберігання лише 3х кадрів з 300, які були спочатку.

Після етапів стиснення з втратами, I-кадри містять надлишкові дані. У векторах руху кожного з макроблоків в P-кадрах і B-кадрах багато однакової інформації, так як часто вони рухаються ідентично.

Від такої надмірності можна позбутися ентропійним кодуванням. І можна не переживати за самі дані, так як це стандартна технологія стиснення без втрат, а значить все можна відновити.

В основі H.264 лежать вищезазначені технології..

Початкове відео було знято в нестандартному розширенні 1232x1154.

Якщо порахувати, то вийде:

$$5 \text{ сек. @ } 60 \text{ fps} = 1232 \times 1154 \times 60 \times 3 \times 5 \Rightarrow 1.2 \text{ Гб}$$

$$\text{Стиснуте відео} \Rightarrow 175 \text{ Кб}$$

1.2 H.265/HEVC відео стандарт

Кодування відео високої ефективності (HEVC) розроблено як правонаступник відео H.264/AVC стандарту. Він розроблений спільно Moving Picture Experts Group ISO / IEC та ITU–T Video Coding Experts Group (VCEG). Старіший стандарт кодування відео, такий як H.264/AVC дотепер служив, але збільшення різноманітності відеопрограм, що пропонуються в останні кілька років (наприклад, збільшення популярності HD–відео) може призвести до збільшення «заторів» в мережах комерційного доступу в найближчому майбутньому. Таким чином, відеокодек HEVC розроблено з метою зменшення бітрейту приблизно на 50% у порівнянні з існуючим стандартом H.264/AVC для таких же (а подекуди і кращих) рівнів якості відео. HEVC призначений для вирішення чотирьох ключових питань – підтримка підвищеної роздільної здатності (роздільна здатність до 8192 x 4320), спрощення інтеграції транспортних протоколів та підтримку паралельної архітектурної обробки і стійкості до втрати даних. HEVC підтримує кілька профілів, такі як Main профіль, який підтримує бітну глибину 8 біт, Main 10 профіль, який підтримує бітову глибину 10 біт, Main Still Picture профіль для цифрових фотографій і групу профілів, які називаються розширеннями діапазону (RExt).

Кожна фотографія під час процесу кодування HEVC поділяється на блоки. Карта розбиття блоків подається на декодер на іншому кінці. Перша картинка кожної відеопослідовності кодується з внутрішнім прогнозуванням зображення. Для решти кадрів, використовується ієрархічний прогноз між зображеннями. Інтерфейс передбачення являє собою вибір використаних кадрів та вектора руху Motion Vector (MV), які будуть застосовані для прогнозування зразка кожного блоку. Дані компенсатора руху Motion Compensation (MC) отримуються з вектора руху MV та рішень передбачення (що присутні в закодованому бітовому потоці).



Рисунок 1.2 – Блок-схема відеокодер HEVC

Залишковий сигнал проходить через масштабування, квантування і ентропійне кодування. Коефіцієнти перетворення квантованості потім розраховуються шляхом зворотного масштабування і зворотного перетворення. Це зроблено так, щоб кодер та декодер мали однаковий залишковий сигнал наближення. Потім залишковий сигнал додається до сигналу прогнозування, і в результаті зображення згладжене за допомогою фільтра для зменшення артефактів, які можуть виникнути внаслідок блокування обробки. Отримане зображення потім зберігається у декодованому буфері зображень Decoded Picture Buffer (DPB) і може використовуватися як дані для прогнозування інших зображень у групі кадрів Group of Pictures (GoP).

Для представлення кольорових відеосигналів HEVC використовує колірний простір з вибіркою 4:2:0. Це означає, що роздільна здатність вибірки компонентів Luma (Яскравості) становить вдвічі більшу роздільну здатність компонента Chroma (Кольоровості). Відео з зображеннями з роздільною здатністю $W \times H$ сканується поступово, де W – це ширина і H – висота. Кожен кадр у стандарті HEVC розділений на блоки кодування Coding Tree Unit (CTU). Кожен CTU складається з одного Luma Coding Tree Blocks (CTBs) і двох Chroma CTBs. CTU є базовими блоками обробки в процесі декодування HEVC (наприклад, макроблок у форматі H.264). Площа $L \times L$ Luma компонентів та Chroma CTB покривають область $L/2 \times L/2$ Chroma

компоненти, де L може бути 16, 32 або 64 зразків. У порівнянні з H.264, у яких працювало 16×16 розмірів СТВ (макроблок фіксованого розміру), HEVC використовує змінні розміри СТВ. Великий розмір СТВ робить ефективним кодування відео з високою роздільною здатністю. Luma і Chroma СТВ можуть безпосередньо кодуватися як блоки кодування (CB) або можуть бути додатково розділені на кілька CB. Це розбиття здійснюється за допомогою сигналу, що дозволяє виконувати чотирикутне розділення СТВ відповідних розмірів на основі характеристик кодованої картинки. Це розділення може ітеративно продовжуватися, доки не досягне найнижчого дозволеного значення. Прогнозування в HEVC може бути внутрішньо кадрове (intra) та міжкадрове (inter). Якщо режим прогнозування є intra, розмір PB становить такий самий як CB для всіх розмірів блоків.

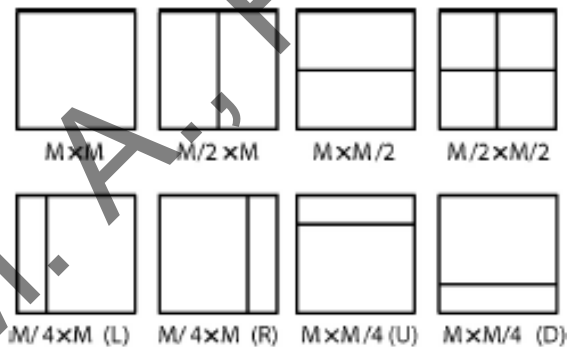


Рисунок 1.3 – Режими для розбиття CB на PB за певних обмежень розміру

У випадку режиму міжкадрового передбачення вказується, чи буде Luma і Chroma CB розділений на одну, дві чи чотири PB. Розподіл CB на чотири PB однакового розміру дозволяється тільки коли розмір CB дорівнює мінімальному розміру, який допускається. Коли CB розділений на два PB, можливе розбиття шістьма способами. Рис. 1.3 ілюструє можливості розподілу для CB. Для внутрішньокadroвого передбачення, допускається розбиття тільки $L \times L$ і $L/2 \times L/2$ типів. Нижня частина рис. 1.3 показує чотири поділи, які є частиною групи, що називається асиметричним

розподілом руху (AMP), і вони можуть бути використані тільки тоді, коли L для моделей Luma дорівнює 16 або більше. Luma і Chroma PB разом з відповідним синтаксисом утворюють один блок прогнозування (PU).

Для залишкового кодування, CB повторно розділяється на квадрати. Це розбиття на карту остаточно чотириколірне дерево. Допускаються лише квадратний поділ залишкових CB. Дано Luma CB зразків $L \times L$ Luma, зразки можна розділити на чотири блоки $L/2 \times L/2$, встановлюючи їм відповідний прапорець. Ці блоки можуть бути додатково розділені ітераційно на чотири квадранти, що використовують інший прапорець, якщо не досягнуто мінімально допустимого розміру для розділення, яке позначається символом Sequence Picture Set (SPS).

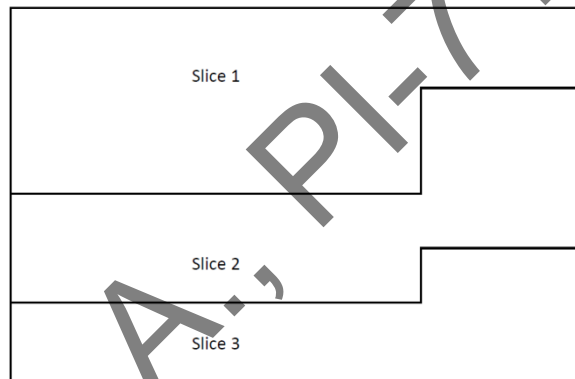


Рисунок 1.4 – Поділ зображення на слайси

Слайси (Slices) – це послідовності CTU, які закодовані в порядку растрового сканування. Картинка може бути розділена на одну або декілька слайсів. Слайси – це незалежні блоки кодування. Як у стандарті відео H.264 слайси можуть бути закодовані за допомогою трьох різних типів кодування –

- 1) I-Slice – всі CU у фрагменті кодуються з використанням внутрішнькадрового передбачення.

- 2) P-Slice – бере тільки зміни з попереднього слайсу.

- 3) B-Slice – дозволяє брати зміни з попереднього і наступного блоку.

Внутрішнє прогнозування в HEVC (рис. 1.5) здійснюється відповідно до розміру ТВ шляхом порівняння з раніше декодованих зразків з сусідніх ТВ. Для квадратних ТВ з розміром у діапазоні від 4×4 до 32×32 , в додаток

до планарних та DC передбачень, можуть використовуватися 33 напрямки прогнозування.

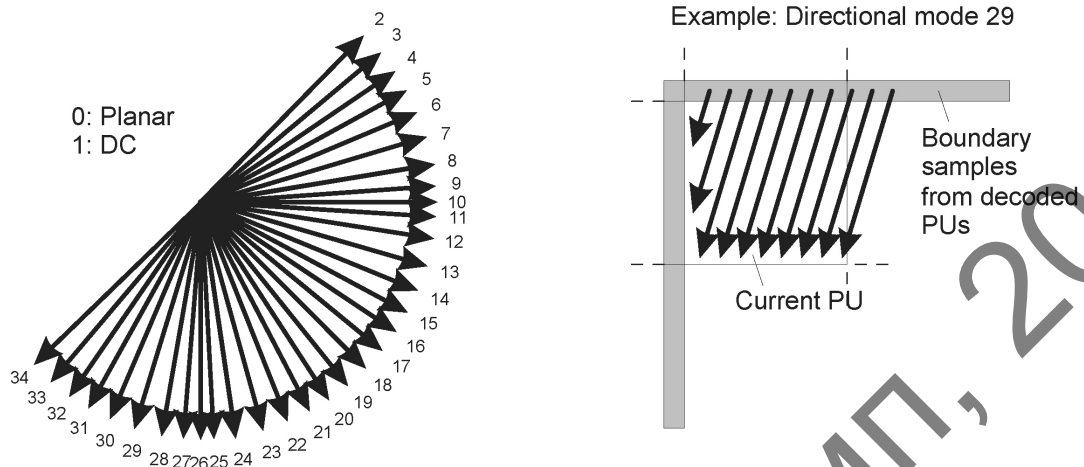


Рисунок 1.5 – Внутрішнє прогнозування в HEVC

У випадку зразків Chroma режими прогнозування можуть бути подані окремо або може бути вказана така ж, як і зразки Luma. HEVC визначає різні методи інтелектуального кодування, таких як Intra_Angular, Intra_Planar та Intra_DC. Прогноз Intra_Angular використовує регіони з чіткими спрямованими краями. Прогноз Intra_Angular, що використовується в HEVC, має навіть кращу продуктивність, ніж це використовується в H.264 через 33 напрямних напрямків HEVC, а не тільки 8 таких орієнтацій, використовуваних в H264. Режим прогнозування Intra_DC використовує середнє значення контрольних зразків для прогнозування. Прогноз Intra_planar корисний, коли стосується розривів уздовж границь блоків, оскільки він використовує середню величину прогнозів що використовують еталонні зразки кутів. Зразки PV для передбачуваного СВ між зображеннями одержують, спочатку визначаючи посилання кадру, вказаним індексом еталонного зображення, а потім визначення відповідного блоку еталонного зображення, використовуючи горизонтальну та вертикальну складові вектора руху. Якщо вектор руху не має цілого значення, працює метод, що називається інтерполяцією фракційного зразка, використовується для генерації сигналів прогнозування. У порівнянні з H.264, який використовувався двома стадіями процесів для інтерполяції (що включало округлення проміжних результатів),

інтерполяція процесу в HEVC – це одноетапний процес, який покращує точність і, таким чином, робить здійснення процесу інтерполяції легше. САВАС використовується для ентропійного кодування в HEVC. САВАС також використовувався в H.264 AVC, але САВАС, що використовується в H.265, зазнав покращень для підтримки паралельної обробки, мінімізації вимоги до пам'яті та загальної продуктивності стиснення. Деблокуючий фільтр, що використовується в HEVC, аналогічний тому, який використовується в H.264, але він розроблений для полегшення прийняття рішень та оптимізувався для паралельної обробки.

1.3 Мережа LTE

У грудні 1998 року було створено об'єднання кількох організацій, що займаються стандартизацією в галузі телекомунікацій, який одержав назву 3GPP (3rd Generation Partnership Project) підписанням «Угоди про партнерство за проектом в області технологій третього покоління (The 3rd Generation Partnership Project Agreement)». Це дозволило об'єднати зусилля зі створення нових технологій, а також забезпечити повну сумісність устаткування в світі. У число організацій по стандартизації, залучених в створення 3GPP, увійшли ARIB (Японія), ETSI (Європа), TTA (Корея), TTC (Японія) і TTC (США). У числі розробок 3GPP стандарти: W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), HSPA (High Speed Packet Access), LTE (Long Term Evolution).

Робота 3GPP над LTE почалася в листопаді 2004 року в форматі відкритого обговорення, доступного для будь-яких зацікавлених організацій (в тому числі і не членів 3GPP). З грудня 2004 проходило вивчення відповідності LTE базовим вимогам, сформульованим у 3GPP TR 25.913.

У листопаді 2005 року були обрані основні технології радіодоступу для використання в стандарті LTE. Ними стали OFDMA на низхідному і SC-FDMA на висхідному каналі. У липні 2006 року був завершений етап вивчення і почалися роботи зі створення стандарту. У вересні 2007 року була

завершена специфікація LTE. Специфікації 8 версії були заморожені в грудні 2008, і це послужило підставою для першої хвилі обладнання LTE. У вересні 2009 були представлені специфікації LTE 10 версії, з цього часу технологія стала називатися LTE–Advanced. В кінці листопада 2010 року Міжнародний союз електрозв'язку офіційно визнав LTE–Advanced стандартом бездротового зв'язку четвертого покоління 4G. Формально LTE версії 7, 8, 9 (яке поки і використовується у всьому світі) не є технологією 4G, тому що не визнана Міжнародним союзом електрозв'язку. Відкинути всі ці формальності вдалося в наступній версії стандарту. Саме ця, десята, версія і наступні отримали суфікс «Advanced» і визнання. Нова назва технології походить від терміна "IMT–Advanced", який ввів Міжнародний союз електрозв'язку для того, щоб відрізнити нове покоління мобільних систем, технічні можливості яких виходять за рамки IMT–2000. Вимоги до IMT–Advanced (International Mobile Telecommunications–Advanced) ставляться такі:

- Глобальна функціональність і роумінг;
- Висока енергоефективність;
- Взаємодія з іншими радіосистемами доступу (зворотна сумісність);
- Покращені пікові швидкості передачі даних, щоб підтримувати вдосконалені служби і додатки;
- Високий рівень безпеки системи;

Структура мережі стандарту LTE виглядає наступним чином (рис. 2.1):

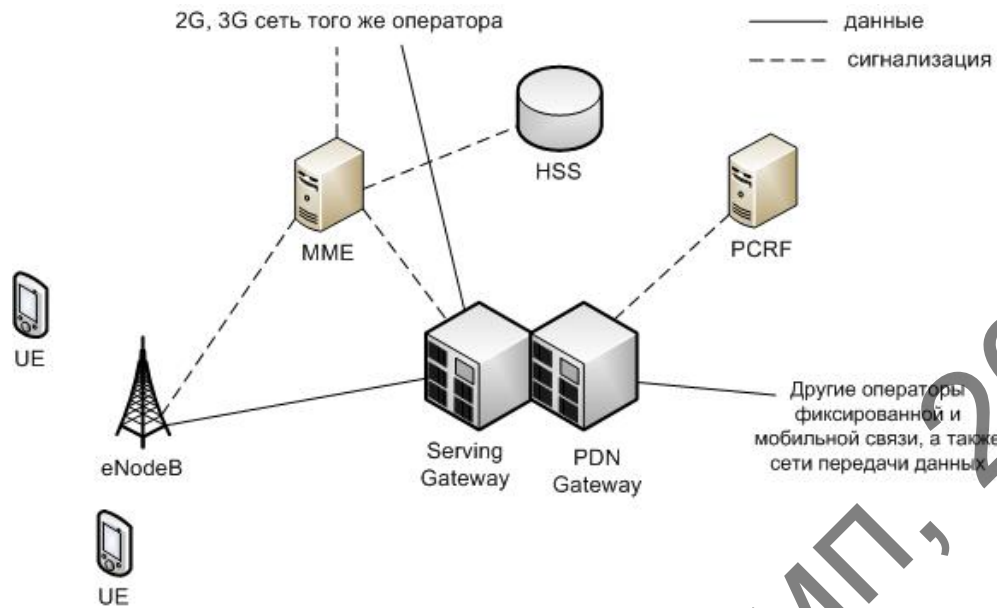


Рисунок 2.1 – Структура мережі стандарту LTE

З цієї схеми видно, що структура мережі сильно відрізняється від мереж стандартів 2G і 3G. Істотні зміни зазнала і підсистема базових станцій, і підсистема комутації. Була змінена технологія передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією. Також піддалися зміні і протоколи передачі даних між мережевими елементами. Вся інформація (голос, дані) передається у вигляді пакетів. Таким чином, вже немає поділу на частини обробні або тільки голосову інформацію, або тільки пакетні дані.

Можна виділити наступні основні елементи мережі стандарту LTE:

– Serving SAE Gateway або просто Serving Gateway (SGW) – обслуговуючий шлюз мережі LTE. Призначений для обробки і маршрутизації пакетних даних, що надходять з / в підсистему базових станцій. SGW має пряме сполучення з мережами другого і третього поколінь того ж оператора, що спрощує передачу з'єднання в / з них з причин погіршення зони покриття, перевантажень і т.п. У SGW немає функції комутації каналів для голосових з'єднань, тому що в LTE вся інформація, включаючи голос комутується і передається за допомогою пакетів.

– Public Data Network SAE Gateway або просто PDN Gateway (PGW) – шлюз до мереж передачі даних інших операторів для мережі LTE. Основне

завдання PGW полягає в маршрутизації трафіку мережі LTE до інших мереж передачі даних, таких як Інтернет, а також мереж GSM, UMTS.

– Mobility Management Entity (MME) – вузол управління мобільністю мережі стільникового зв'язку стандарту LTE. Призначений для обробки сигналізації, переважно пов'язаної з управлінням мобільністю абонентів в мережі.

– Home Subscriber Server (HSS) – сервер абонентських даних мережі стільникового зв'язку стандарту LTE. Являє собою велику базу даних і призначений для зберігання даних про абонентів. Крім того, HSS генерує дані, необхідні для здійснення процедур шифрування, аутентифікації і т.п. Мережа LTE може включати один або декілька HSS. Кількість HSS залежить від географічної структури мережі і числа абонентів.

– Policy and Charging Rules Function (PCRF) – елемент мережі стільникового зв'язку стандарту LTE, який відповідає за управління нарахуванням плати за надані послуги зв'язку, а також за якість з'єднань відповідно до заданих конкретному абоненту характеристиками.

Для того, щоб дані могли бути транспортовані через інтерфейс радіо LTE, використовуються різні «канали». Вони використовуються для того, щоб виділяти різні типи даних і дозволити їм транспортуватися через мережу доступу більш ефективно. Використання декількох каналів забезпечує інтерфейс більш високого рівня в рамках протоколу LTE і включають більш чітку і визначену сегрегацію даних.

Є три категорії, в які можуть бути згруповані різні канали передачі даних:

– Логічні канали – надає послуги середнього рівня управління доступом MAC (Medium Access Control) в межах структури протоколу LTE. Логічні канали на кшталт переданої інформації діляться на логічні канали керування і логічні канали трафіку. Логічні канали керування використовуються для передачі різних сигнальних та інформаційних повідомлень. За логічним каналам трафіку передають призначені для користувача дані.

– Транспортні канали – транспортні канали фізичного рівня пропонують передачу інформації в MAC і вище. Інформацію логічних каналів після обробки на RLC / MAC рівнях розміщують в транспортних каналах для подальшої передачі по радіоінтерфейсу в фізичних каналах. Транспортний канал визначає як і з якими характеристиками відбувається передача інформації радіопослуга. Інформаційні повідомлення на транспортному рівні розбиваються на транспортні блоки. В кожному часовому інтервалі передачі (Transmission Time Interval, TTI) радіопослуга передають хоча б один транспортний блок. При використанні технології MIMO можлива передача до чотирьох блоків в одному TTI.

– Фізичні канали – це канали передачі, які переносять призначені для користувача дані і керуючі повідомлення. Вони змінюються між висхідним і спадним потоками, оскільки кожен з них має різні вимоги і діє по-своєму.

Основні виробники операторського обладнання LTE сьогодні – Ericsson, Alcatel–Lucent, Nokia Siemens Networks, Fujitsu, Huawei Technologies, Motorola, Panasonic, Starent, ZTE.

1.4 Схеми передачі LTE

Робота з LTE розпочалась у 2004 році з метою надання нового радіозв'язку технологія, яка була спрямована на розвиток мережі, яка усуває використання комутації каналів і забезпечує доступ лише через домен з комутацією пакетів. Схема передачі використовується в LTE базується на частотному мультиплексуванні ортогонального відділу (OFDM). OFDM використовує великий кількість відносно вузьких діапазонів піднесучих замість декількох широкосмугових піднесучих, які були використані в попередніх схемах.

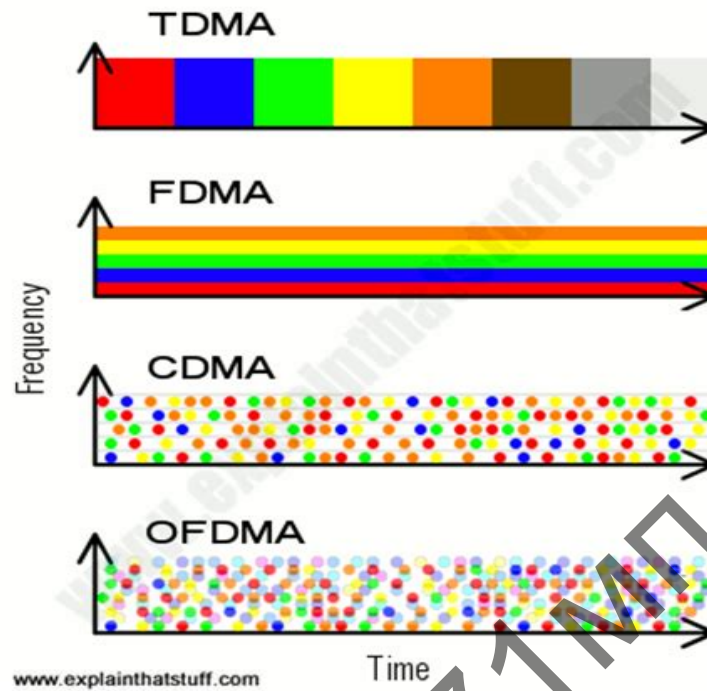


Рисунок 2.2 – Порівняння систем множинного доступу

– TDMA: у найпростішому випадку ми можемо уявити, що кожен дзвінок отримує частку часу у повній частотній діапазоні. Це трохи нагадує абонентів, що чекають чергового телефонного зв'язку. Кожен з них чекає, поки телефон не звільниться попереднім абонентом, зробить їх дзвінок та передасть наступній особі.

– FDMA: коли загальна смуга частот ділиться на менші діапазони, ми можемо уявити собі паралельне надсилання кількох дзвінків. Це трохи нагадує чотири таксофони в рядку; Чотири абонента можуть використовувати їх одночасно. Ми також могли б запустити TDMA одночасно, розділивши кожен з менших діапазонів на часові інтервали часу.

– CDMA: ми розбиваємо кожний дзвінок на частини, кодуємо їх і відправляємо їх у будь-який доступний канал. Це робить набагато краще використання нашого доступного спектру частот, оскільки жоден з каналів в будь-який час не працює. Проте, канали потрібно зберігати окремо, щоб вони не перешкождали, що означає, що загальна частотність використовується неефективно.

– OFDMA: ми налаштували нашу систему так, щоб ми могли ефективно накладати канали один на одного, вкладаючи ще більше можливостей, щоб дати ще більшу швидкість передачі даних.

Використання OFDM забезпечує високу ступінь надійності. Крім того, OFDM робить розподіл пропускну здатності простіше, оскільки пропускна здатність може бути легко змінена, просто змінюючи кількість піднесучих OFDM.

Найважливішою особливістю мереж LTE є масштабованість займаного ними частотного спектра від 1.4 до 20 МГц (можливі смуги – 1,4, 3, 5, 10, 15 і 20 МГц), яка сприяє швидкому впровадженню технології в умовах обмеженості радіоресурсів. Очевидно, що, чим ширше смуга, тим більше будуть швидкості. Нижче в таблиці 1 наведені співвідношення між шириною смуги і кількістю піднесучих і ресурсних блоків (ресурсний блок – це 12 піднесучих в частотній області і один тайм-слот або 7 OFDM-символів в тимчасовій області).

Таблиця 2.1— Співвідношення між шириною смуги частот і числом ресурсних блоків.

Смуга, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Кількість піднесучих	72	180	300	600	900	1200
Число ресурсних блоків	6	15	25	50	75	100

1.5 Планувальник (Scheduler)

LTE eNB Scheduler – це сучасна програмна бібліотека, що реалізує функції планувальника базової станції. Вона взаємодіє з LTE eNB Stack за допомогою інтерфейсу, сумісного з Small Cell Forum (колишній Femto Forum) (FAP1), який підтримується для агрегації оператора зв'язку. Завдяки цьому LTE eNB Scheduler може використовуватися разом зі LTE eNB Stack або з іншими наборами протоколів eNB, що відповідають конкретним

вимогам. LTE eNB Scheduler реалізує два налаштовуваних алгоритмів планування, включаючи розширений для календаря алгоритм планування, призначений для виконання, а також простий алгоритм круглого алгоритму планування, призначений для порівняльного аналізу.

Бібліотека планувальника eNB LTE виконується в стандарті ISO 9899: 1999 C (C99), використовуючи найновіші галузеві стандарти для підвищення безпеки та ефективності. LTE eNB Scheduler працює на будь-якому середовищі обробки, що забезпечує підтримку потоку. Для тих клієнтів, які прагнуть інтегрувати наш LTE eNB Scheduler зі своїми наборами протоколів eNB, ми надаємо службу підтримки інтеграції.

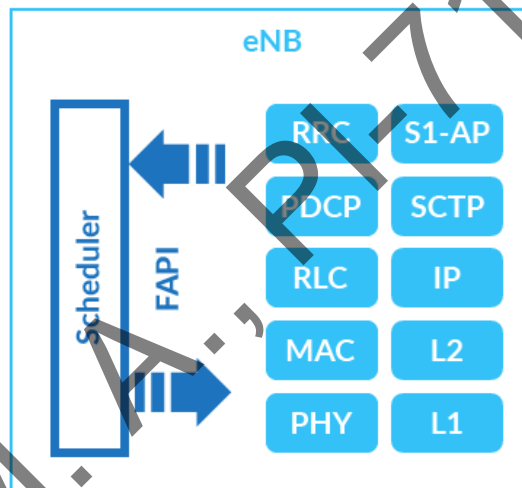


Рисунок 2.3 – Планувальник eNB LTE в архітектурі eNB

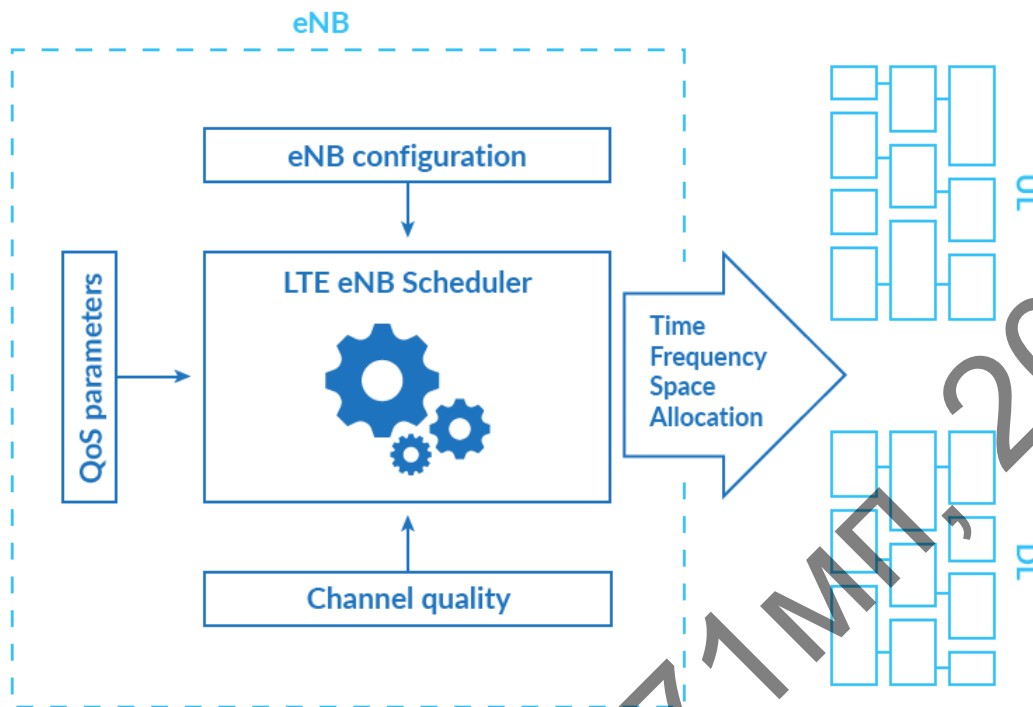


Рисунок 2.4 – Основні функціональні можливості планувальника LTN eNB

LTE eNB Scheduler виконує три основні кроки, призначаючи користувачам радіоресурси. Вони представлені на рис. 2.5.

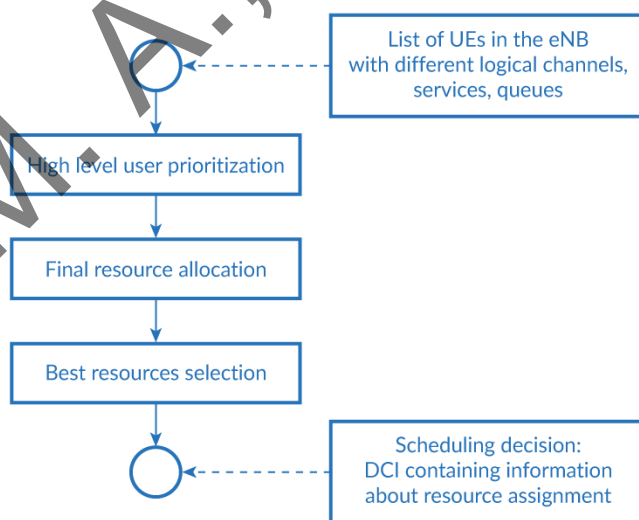


Рисунок 2.5 – Основні етапи алгоритму планування

У початковому списку користувачів, підключених до eNB, встановлюється пріоритет. Цей крок дозволяє сортувати користувачів відповідно до вимог швидкості передачі даних та потреб повторної передачі. На наступному кроці алгоритм вибирає ресурси для всіх користувачів,

обчисливши їх пріоритет на кожний доступний ресурсний блок. Пріоритет залежить від довжини черги, затримки пакету, умов каналу та пропускнуї спроможності.

Рішення про планування, повинно відповідати специфікаціям 3GPP – розподіл ресурсів має бути у спеціальному форматі, він повинен враховувати резервні ресурси для регіону контролю та сигналізації та можливостей користувацького обладнання. На останньому кроці LTE eNB Scheduler відображає розрахункові пріоритети для остаточного рішення щодо планування, яке відповідає вимогам 3GPP.

LTE eNB Scheduler при призначенні ресурсів враховує численні фактори. Завдяки такому підходу алгоритм може бути налаштований на потреби оператора – це може максимізувати загальну пропускну здатність базової станції, мінімізувати затримку користувачів або підвищити справедливість розподілу.

LTE-Sim – це платформа з відкритим кодом для моделювання мереж LTE. Симулятор вперше був представлений за допомогою наукової статті. [1]

Він охоплює кілька аспектів мереж LTE, включаючи як Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRAN) та Evolved Packet System (EPS). Він підтримує окремі та неоднорідні багатокомпонентні середовища, керування QoS, середовище для декількох користувачів, мобільність користувачів, процедури перенесення та використання повторного використання частоти. Моделюються чотири види мережевих вузлів: користувальницьке обладнання (UE), розвинений вузол B (eNB), домашній eNB (HeNB) і об'єкт управління / шлюзу управління мобільністю (MME / GW). Було впроваджено чотири різних генераторів трафіку на рівні додатків та підтримується керування радіопередавачем даних. Нарешті, були розроблені добре відомі стратегії планування (такі як пропорційне планування, модифікована найбільша вагова затримка, експоненційні пропорційні планування).

2 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ТА РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Порівняння вимог пропускної здатності

Для симуляції були закодовані бітові потоки з однорівневою послідовністю HD, названі «test» згідно стандарту відео HEVC / H.265 та відео стандарту H.264/AVC. Програмне забезпечення з відкритим кодом FFmpeg було використано для кодування відеозаписів відповідно до стандарту відео HEVC / H.265 та H.264 AVC. Відео були закодовані з різним співвідношенням сигнал/шум (різні середні PSNR).

LTE-Sim Simulator – симулятор стільникової мережі з відкритим кодом. Широко використовується для перевірки різних аспектів систем LTE. LTE – Sim реалізує всі необхідні протоколи, що використовуються в системах LTE – від фізичного до прикладного рівнів. На рівні додатків він підтримує базовий трафік, Voice over IP (VoIP) трафік, веб-трафік, Constant Bit Rate (CBR) і трафік Infinite Buffer (нескінченний буфер). На рис. 3.1 показана крива, яка ілюструє порівняння бітових частот PSNR для H.264/AVC і HEVC / H.265 стандартів. Таблиця 3.1 показує відповідні дані. З кривої можна побачити, що HEVC / H.265 демонструє значно кращу якість відео при меншому бітрейті.

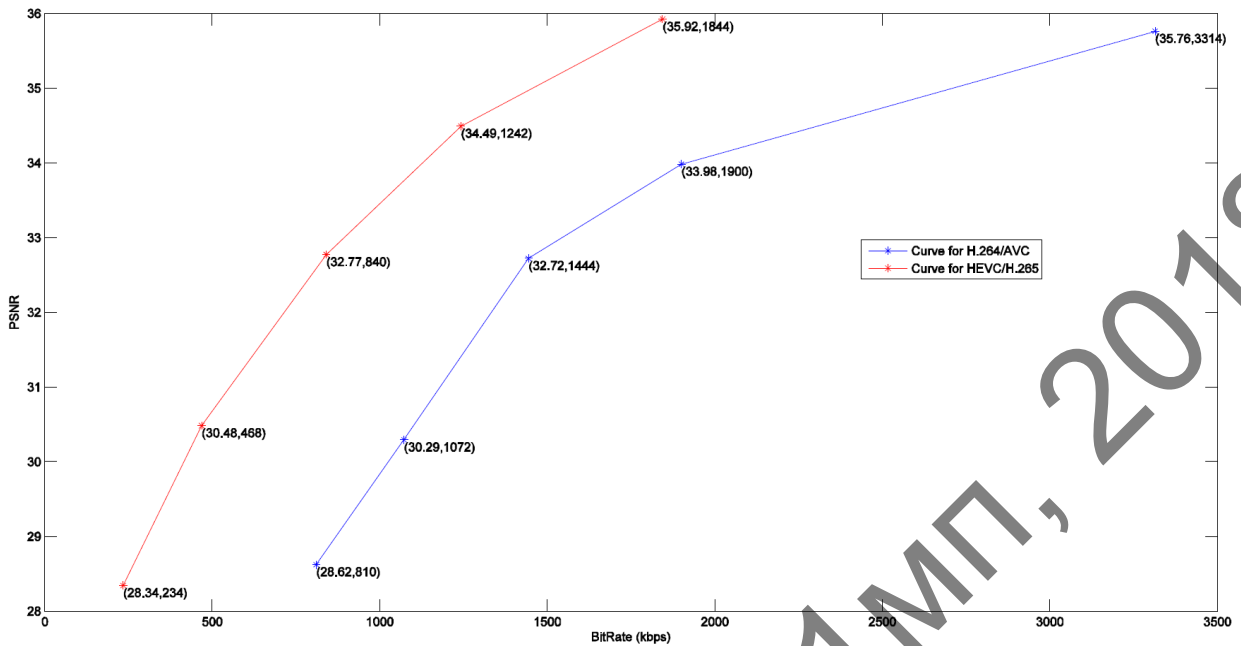


Рисунок 3.1 – Криві швидкості H.264/AVC та H.265 для тестових послідовностей

Таблиця 3.1– Порівняння швидкості та спотворення для H.264/AVC та H.265 для перевірених послідовностей

H.264/AVC		H.265/HEVC	
Bit Rate (в kbps)	PSNR	Bit Rate (в kbps)	PSNR
810	28,62	234	28,34
1072	30,29	468	30,48
1444	32,72	840	32,77
1900	33,98	1242	34,49
3314	35,76	1844	35,92

Для порівняння вимог до пропускної здатності для відеозаписів, кодованих з H.264/AVC та H.265 / HEVC стандартів через систему LTE, ми передали закодовані відеоролики для одного користувача на різних відстанях від базової станції (eNodeB). Метою симуляції було порівняння ресурсів пропускної спроможності, необхідних для передачі кодованих відеозаписів в LTE мережі без втрати кадрів на різних відстанях. Таким чином пропускна здатність повної мережі LTE в 20 МГц була виділена на базову станцію таким чином, щоб не було втрат пакетів для будь-якого бітрейту або відстані (між базовою станцією та користувачем).

Оскільки блок фізичного ресурсу (PRB), призначений для певного потоку, дає достатньо ресурсів пропускної спроможності, необхідної для передачі цього конкретного потоку, то ми порівнюємо пропускну здатність, яка використовується для передачі повного відео (всього 320 кадрів) без будь-яких втрат кадрів для різної відстані між базовою станцією та користувачем. З метою мінімізації кількості змінних, розглядається тільки той випадок, коли максимальна допустима затримка становить 500 мс. Деякі важливі параметри, що використовуються під час моделювання, подані в таблиці нижче.

Таблиця 3.2 – Параметри, що використовуються для порівняння ресурсів пропускної здатності необхідної для передачі відео, що відповідає стандартам H.264/AVC та H.265

Кількість користувачів	1
Відстань UE від базової	Змінна
Пропускна здатність	20 МГц
Кількість доступних PRB	100
Використовуване відео	test
Роздільна здатність	HD (1280 x 720)
Частота кадрів	50 к/с
GoP (група зображень)	G16B15
Кадрів кодовано	320
Планувальник Downlink	Exponential Fair
Швидкість UE	0 км/г
Структура кадра	FDD
Максимальна затримка	500 мс
Тривалість потоку	20 с
Тривалість моделювання	25 с

У цьому моделюванні ми провели порівняння вимог пропускної спроможності для відповідних стандартів відеокодування H.264/AVC та H.265 шляхом розміщення користувача на відстанях 200 м, 400 м, 600 м, 800 м, 1000 м, 1200 м і 1400 м від базової станції. Дані для всіх цих порівнянь відображається в таблиці 3.2. Однак для збереження лаконічності, були

заплановані порівняння лише трьох випадків – 200 м (коли користувач близький до базової станції), 800 м (коли користувач знаходиться на відносно середній відстані від базової станції) і 1400 м (коли користувач знаходиться далеко від базової станції).

Результати всіх трьох випадків показують, що відеозаписи закодовані з H.265 / HEVC споживають значно менше ресурсів пропускної здатності, ніж ті, що потрібні для передачі відеозаписів, закодованих стандартом H.264/AVC. Наприклад, коли відстань між користувачем і базовою станцією становить 800 м, ресурси пропускної спроможності потрібні для передавання відео, що відповідає стандарту H.265, і закодоване значенням PSNR 32,77 на 31% менше споживає ресурсів пропускної спроможності, необхідних для передачі того ж відео стандарту H.264/AVC, зі значенням PSNR 32,72. Аналогічно, відео що відповідає стандарту H.264/AVC і значенням PSNR 35,76 для передачі 320 кадрів відео потребувало бітрейт 161391 b/s. І те ж відео, що відповідає стандарту H.265 і значенням PSNR 35,92 потребувало лише 88598 b/s. Рисунки 3.2, 3.3, 3.4 показують порівняння вимог пропускної спроможності на відстанях 200 м, 800 м та 1400 м відповідно.

Таблиця 3.3 – Порівняння вимог до пропускної спроможності для відео H.264/AVC та H.265 на різних відстанях між користувачем і базовою станцією.

Кодек	Відстань користувача від базової станції						
	200 m	400 m	600 m	800 m	1000 m	1200 m	1400 m
avc 810 kbps	16465	28822	36507	37666	44781	54937	68203
avc 1072 kbps	19006	34508	49843	50499	68415	69234	94167
avc 1444 kbps	24153	47853	62217	68412	84259	95729	130965
avc 1900 kbps	35904	65425	82217	91850	113703	123106	152393
avc 3314 kbps	55011	110971	146983	161391	187306	220290	275956
hevc 234 kbps	4879	8054	10378	11398	13709	16002	19451
hevc 468 kbps	8383	17765	21129	25119	25119	30134	41167
hevc 840 kbps	16714	28717	36836	47006	48522	56021	64993
hevc 1242 kbps	25578	43986	55487	59207	59207	82062	100529
hevc 1844 kbps	32455	59819	82655	88598	88598	129067	142154

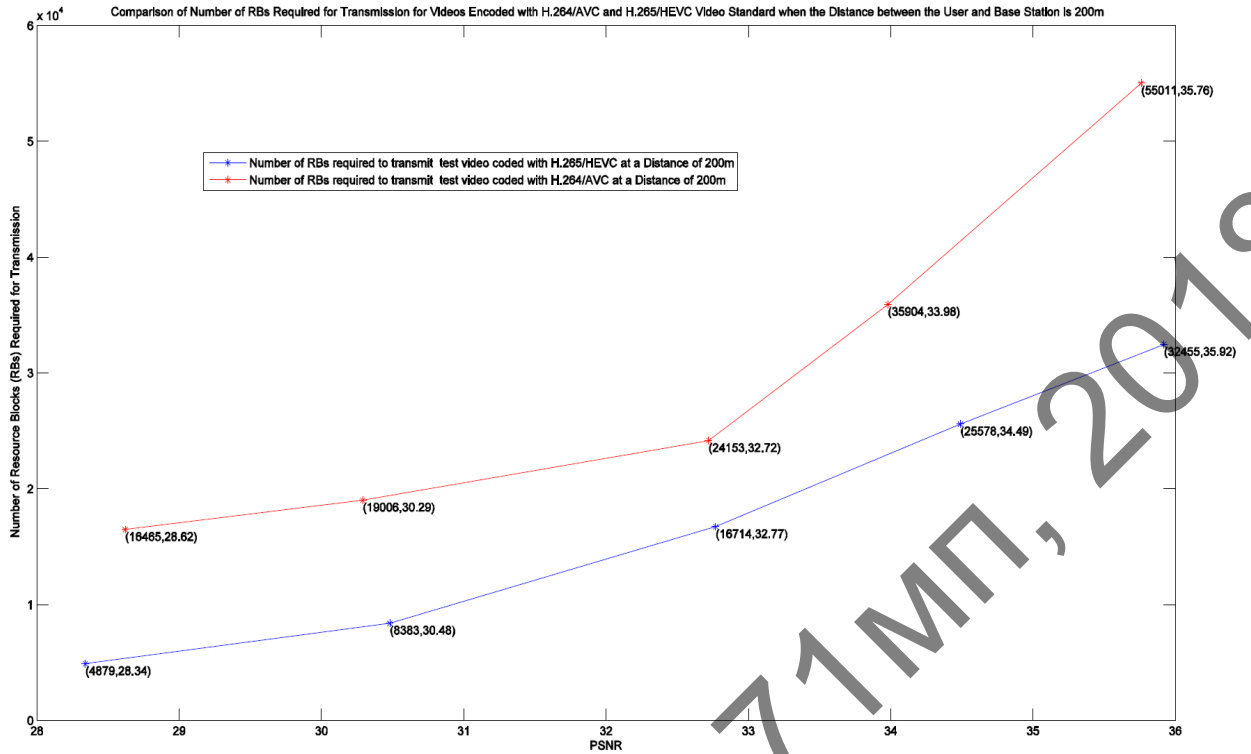


Рисунок 3.2 – Порівняння вимог до пропускної спроможності для відео H.264/AVC та H.265, коли відстань між користувачем і базовою станцією становить 200 м

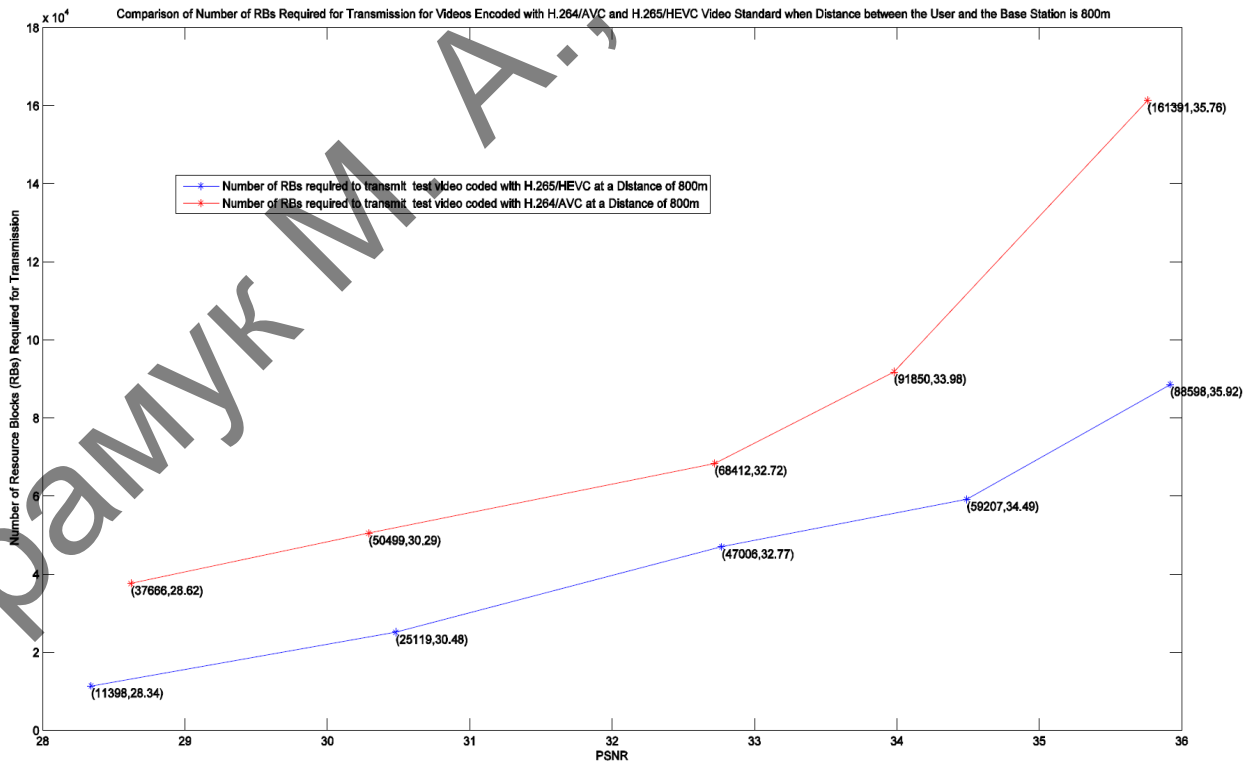


Рисунок 3.3 – Порівняння вимог до пропускної спроможності (необхідна кількість RBS) для відео H.264/AVC та H.265 / HEVC, коли відстань між користувачем і базовою станцією – 800 м

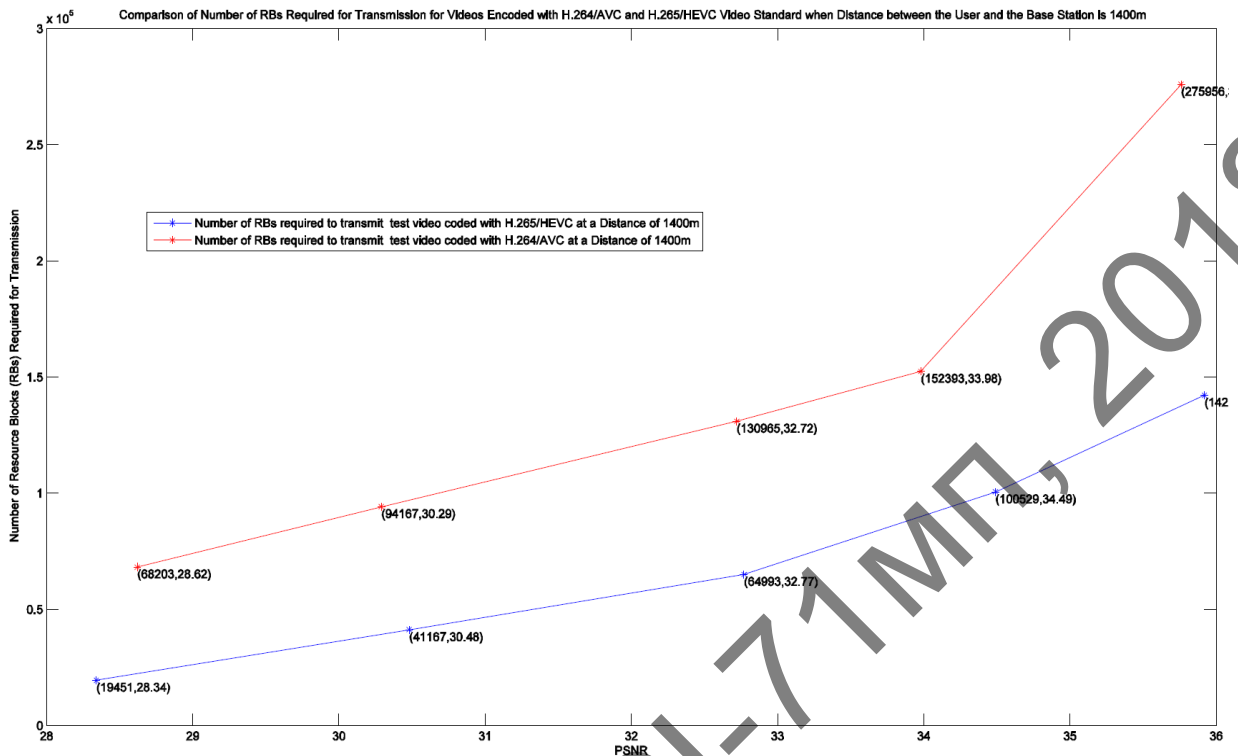


Рисунок 3.4: Порівняння вимог до пропускної спроможності (необхідна кількість RBS) для відео H.264/AVC та H.265 при відстані між користувачем і базовою станцією 1400 м

2.2 Ефект максимально дозвленої затримки та кількості користувачів у мережі

Для того, щоб оцінити ефект максимальної затримки (і, таким чином, якість передачі) і кількості користувачів у мережі (вплив фонового трафіку) на якість відео, отримані користувачем в мережі LTE, ми передали потоки відеозаписів, закодованих для користувача на 650 метрів від базової станції. Потім виміряли якість відео, отриманого вимірюванням його значення PSNR, змінюючи максимально дозвोलену затримку та кількість користувачів (на етапах п'яти користувачів). Пакет, що надходить після відновлення, що перевищує значення, встановлене для максимальної затримки, відкидається, навіть якщо він отриманий успішно. Затримка в симуляторі LTE-Sim – це затримка в черзі, яку пакет повинен пройти на базовій станції і, залежить від таких факторів, як розмір черги, коли пакет приходить для передачі на базову

станції, стан каналу та пропускна здатність доступна для певного потоку. Деякі важливі параметри, які були використані для цього моделювання, наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Параметри, що використовуються для цього моделювання

Кількість користувачів	Змінна (збільшується з кроком 5)
Радіус передачі кожної мережі	2 км
Пропускна здатність	20 МГц
Кількість доступних PRB	100
Використовуване відео	test
Роздільна здатність	HD (1280 x 720)
Частота кадрів	50
GoP (група зображень)	G16B15
Кількість кадрів	320
Планувальник	Exponential Fair Scheduler
Швидкість користувача	0 км/г
Структура кадра	FDD
Максимальна затримка	0.2, 0.3 ,0.4,0.5,0.6, 0.7
Тривалість потоку	20 с
Тривалість моделювання	25 с
Модель втрати шляху	Macro Cell Urban Area
Відстань користувач/БС	650 метрів

Для того, щоб дослідити ефект максимальної затримки і вплив фонового трафіку (декілька користувачів) на якість відео, отриманого користувачем в LTE мережі, ми почали з фонового трафіку від 5 користувачів, до яких відправляється відпотік кодований в 128 кбіт / с. Ці тустування вже реалізовані в LTE-SIM Simulator. Для 6-го користувача (користувача під спостереженням) ми передали відео, котрі ми кодували за допомогою FFMpeg та розраховали значення PSNR отриманого відео. Результати залишаються такими ж, коли й кількість користувачів які складають фоновий трафік, було збільшено до 10, 15 та 20 користувачів. Наші моделювання показують, що ні одного пакету при передачі не втрачено при будь-якому розглянутому значенні максимальної дозволеної пакетної затримки і, таким чином, не зменшується і значення PSNR отриманого відео в порівнянні з оригінальним відео (відео до передачі). У результаті графіки для всіх відеопотоків (H264 / AVC та H.265), показані на рис. 3.5, є прямими,

що вказує на те, що зміни максимально дозволених затримки не впливають на значення PSNR відео, отриманих через мережу LTE для цього фонових трафіку (кількість користувачів у мережі) і для максимального діапазону затримки, що використовуються в нашому дослідженні.

Таблиця 3.5 – Порівняння значень PSNR відео, кодованих з H.264/AVC та H.265 / HEVC, коли кількість користувачів у мережі менше 20

Кодек	Затримка				
	300ms	400ms	500ms	600ms	700ms
avc_ 810 kbps	28,62	28,62	28,62	28,62	28,62
avc_ 1072 kbps	30,29	30,29	30,29	30,29	30,29
avc_ 1444 kbps	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72
avc_ 1900 kbps	33,98	33,98	33,98	33,98	33,98
avc_ 3314 kbps	35,76	35,76	35,76	35,76	35,76
hevc_ 234 kbps	28,34	28,34	28,34	28,34	28,34
hevc_ 468 kbps	30,48	30,48	30,48	30,48	30,48
hevc_ 840 kbps	32,77	32,77	32,77	32,77	32,77
hevc_ 1242 kbps	34,49	34,49	34,49	34,49	34,49
hevc 1844 kbps	35,92	35,92	35,92	35,92	35,92

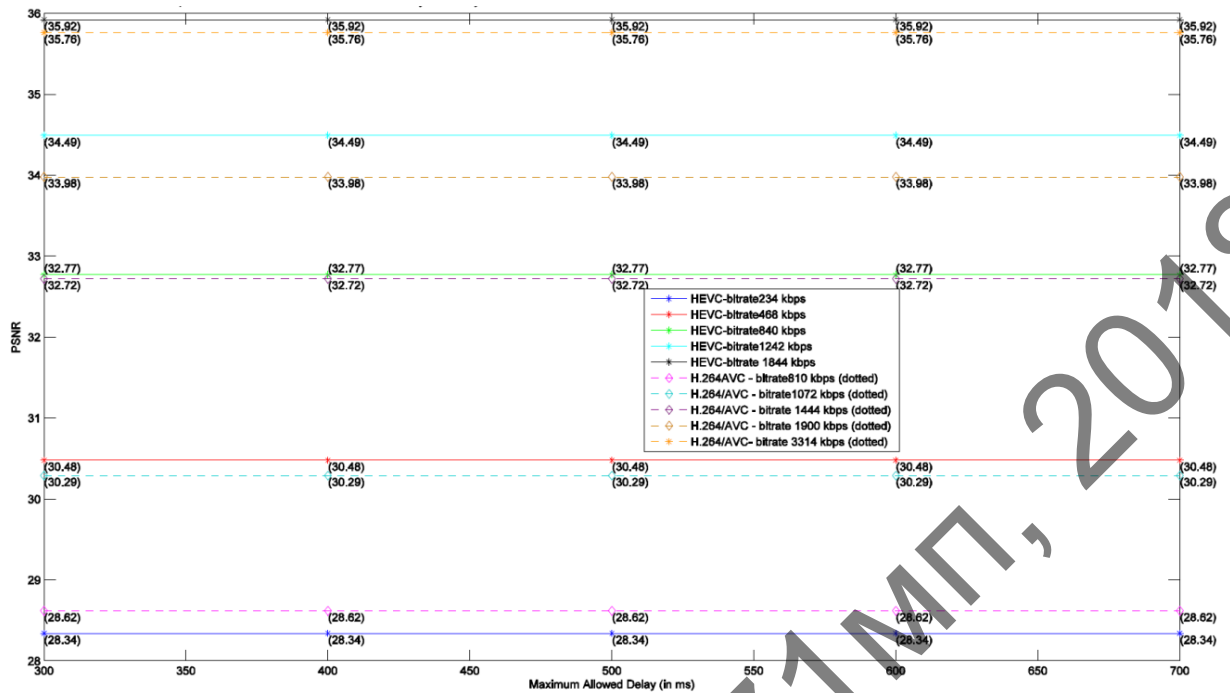


Рисунок 3.5 – Порівняння PSNR відео, кодованого з H.264/AVC H.265 / HEVC при різних максимальних затримках, коли кількість користувачів в мережі менше або дорівнює 20

Як це видно на рис. 3.6, коли фоновий трафік збільшується до 25 користувачів в мережі, втрат кадрів немає, отже, це не впливає на якість отриманих відео коли максимальна дозволена затримка в системі LTE встановлена до 600 мілісекунд (мс) або більше. Після того як ми зменшили максимальну дозволена затримку до 500 мс, зменшується і якість отриманого відео користувачем від початкового значення PSNR від 35,76 до 34,77 для відео, що відповідає H.264/AVC (закодоване з бітрейтом 3314 кбіт/с). Значення PSNR для цього відео знижується до 33,72 коли максимальна затримка, дозволена для відеопакетів, встановлена до 400 мс. Якість відео для H.264/AVC, кодований при 3314 Кбіт / с (PSNR = 35,76) погіршується до 32,15 і стає навіть нижче, ніж відео H.264/AVC, закодовані зі швидкістю 1900 Кбіт/с (PSNR = 33,98) та 1444 Кбіт/с (PSNR = 32,72), коли максимально допустима затримка зменшується до 300 мілісекунд до надмірної втрати кадрів. Також є незначне зниження якості відео H.264/AVC, закодоване 1900 кбіт/с коли максимально допустима затримка зменшується до 300 мс. Якість цього відео знижується від значення PSNR 33,98 до 33,78. Немає погіршення

для будь-якого відео, закодованого H.265 / HEVC Video Standard, коли кількість користувачів у комірці становить 25. Жовті поля в таблиці 3.6 вказують на погіршення якості відео.

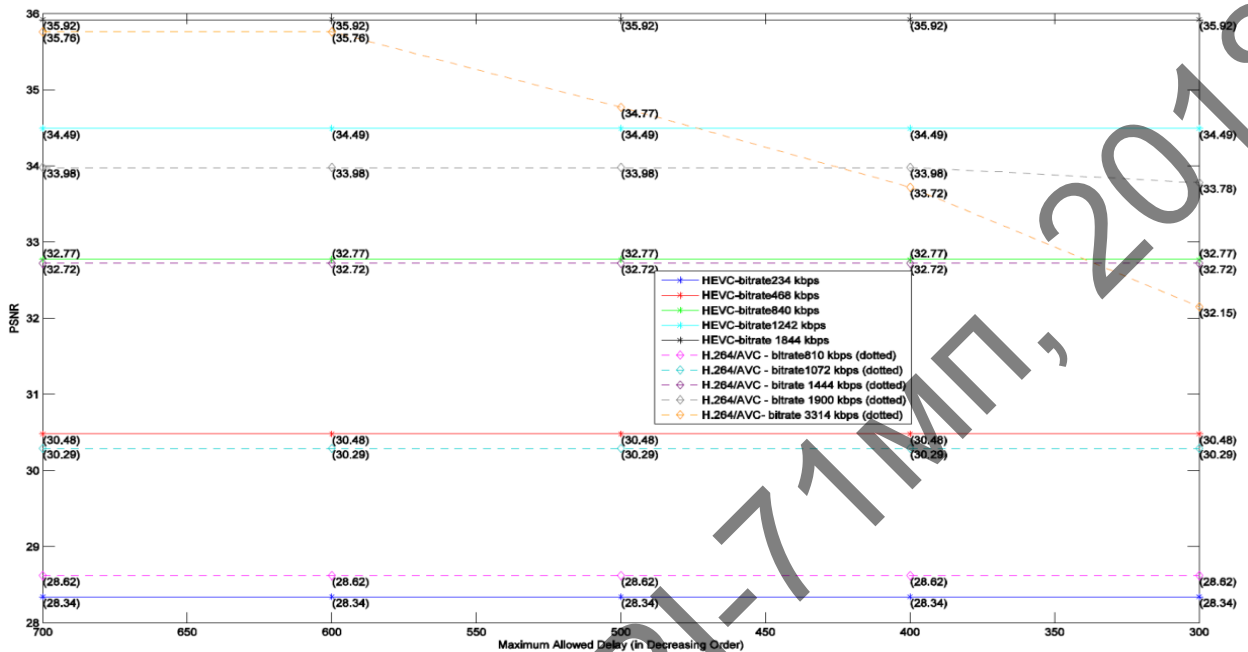


Рисунок 3.6 – Порівняння PSNR відео, кодованого стандартами H.264/AVC та H.265 / HEVC при різних максимальних затримках, коли кількість користувачів в мережі становить 25

Таблиця 3.5 – Порівняння значень PSNR відео, кодованих з H.264/AVC та H.265 / HEVC, коли кількість користувачів у комірці дорівнює 25

Кодек	Затримка				
	300ms	400ms	500ms	600ms	700ms
avc 810 kbps	28,62	28,62	28,62	28,62	28,62
avc 1072 kbps	30,29	30,29	30,29	30,29	30,29
avc 1444 kbps	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72
avc 1900 kbps	33,78	33,98	33,98	33,98	33,98
avc 3314 kbps	32,15	33,72	34,77	35,76	35,76
hevc 234 kbps	28,34	28,34	28,34	28,34	28,34
hevc 468 kbps	30,48	30,48	30,48	30,48	30,48
hevc 840 kbps	32,77	32,77	32,77	32,77	32,77
hevc 1242 kbps	34,49	34,49	34,49	34,49	34,49
hevc 1844 kbps	35,92	35,92	35,92	35,92	35,92

Коли трафік збільшується до 30 користувачів, відео H.264/AVC має бітрейт 3314 Кбіт / с (золота пунктирна крива) і PSNR 35.76, погіршується до

35.58, коли максимальна допустима затримка для системи LTE становить 700 мс, вона досягає 32,24 у максимально дозволеному порядку затримка в 600мс і подальше зниження до 30,80 при максимально дозволений затримці 300мс. Це говорить про те, що AVC–відеозапис, який закодований при високій бітовій швидкості 3314 Кбіт/с, працює ще гірше ніж AVC–відео, кодоване з бітрейтом 1444 Кбіт/с та 1900 Кбіт/с, коли максимально допустима затримка зменшується. Ця втрата якості відео може бути пов'язана з великою втратою кількість кадрів для відеозаписів, які закодовані при високих бітових швидкостях при обмеженій смузі пропускання за рахунок збільшення кількості користувачів в камері. Невелика втрата якості отриманого відео також спостерігається для відео H.264/AVC, закодованого бітовою швидкістю 1900 Кбіт/с при максимальному значенні затримки 500 мс або менше. Значення PSNR для цього відео зменшується з 33.98 до 33.07 коли максимальна затримка системи LTE встановлена до 300 мс. З іншого боку, жоден із потоків відео кодованих HEVC/H.265 не втрачає якості для відповідних значень PSNR.

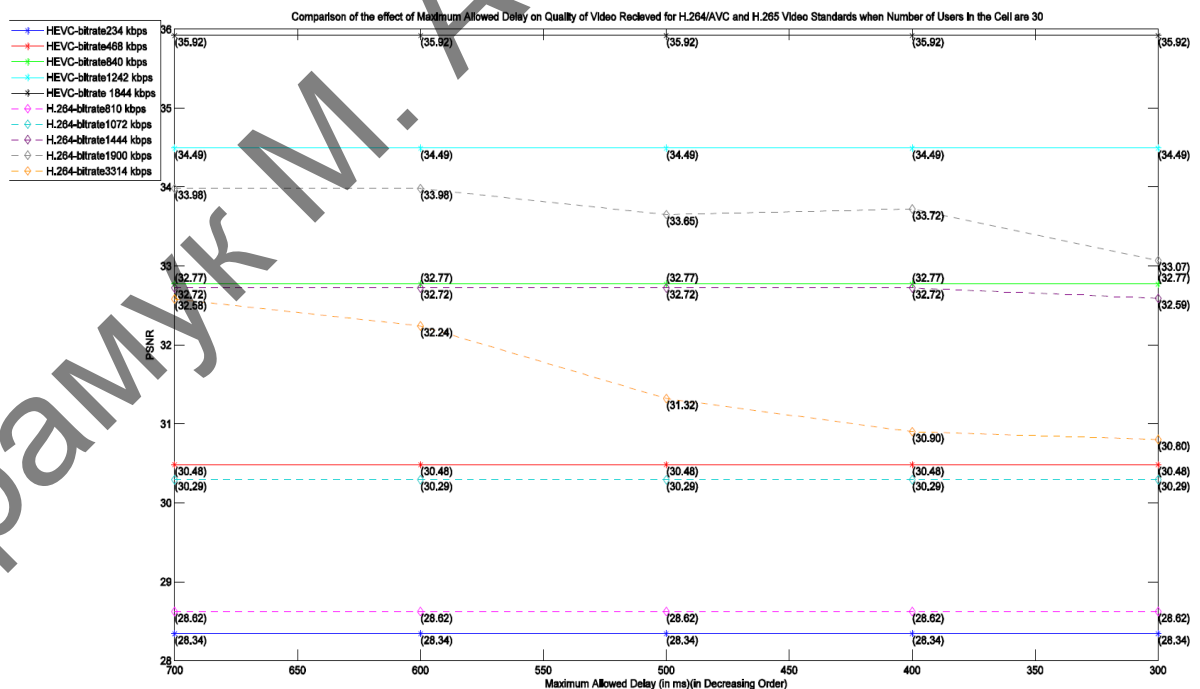


Рисунок 3.7 – Порівняння PSNR відео, кодованого стандартами H.264/AVC і HEVC при різних максимальних затримках, коли кількість користувачів у комірці дорівнює 30

Таблиця 3.6 – Порівняння PSNR відео, кодованого стандартами H.264/AVC та HEVC при різних максимальних затримках, коли кількість користувачів у мережі дорівнює 30

Кодек	Затримка				
	300ms	400ms	500ms	600ms	700ms
avc 810 kbps	28,62	28,62	28,62	28,62	28,62
avc 1072 kbps	30,29	30,29	30,29	30,29	30,29
avc 1444 kbps	32,59	32,72	32,72	32,72	32,72
avc 1900 kbps	33,07	33,72	33,65	33,98	33,98
avc 3314 kbps	30,8	30,9	31,32	32,24	32,58
hevc 234 kbps	28,34	28,34	28,34	28,34	28,34
hevc 468 kbps	30,48	30,48	30,48	30,48	30,48
hevc 840 kbps	32,77	32,77	32,77	32,77	32,77
hevc 1242 kbps	34,49	34,49	34,49	34,49	34,49
hevc 1844 kbps	35,92	35,92	35,92	35,92	35,92

2.3 Вплив відстані між обладнанням користувача та базовою станцією

Для визначення впливу відстані між користувацьким обладнанням та базовою станцією на якість відео, отриманого користувачем у мережах LTE, ми передали потоки закодованих відеозаписів, а користувачів змінювали свою відстань від базової станції. Потім ми виміряли якість відео, шляхом вимірювання його значення PSNR. Дані про значення PSNR відео отримані на цих відстанях, показані в таблиці 12. Для того, щоб встановити відповідний і послідовний характер фонового трафіку для всіх моделювань, 30 користувачів були випадково розподілені в комірці LTE і стандартний відеопотік (попередньо впроваджений в LTE-Sim Simulator) був переданий їм. Деякі параметри, використані для цього моделювання, наведені в таблиці нижче.

Таблиця 3.7 – Деякі важливі параметри, що використовуються для моделювання

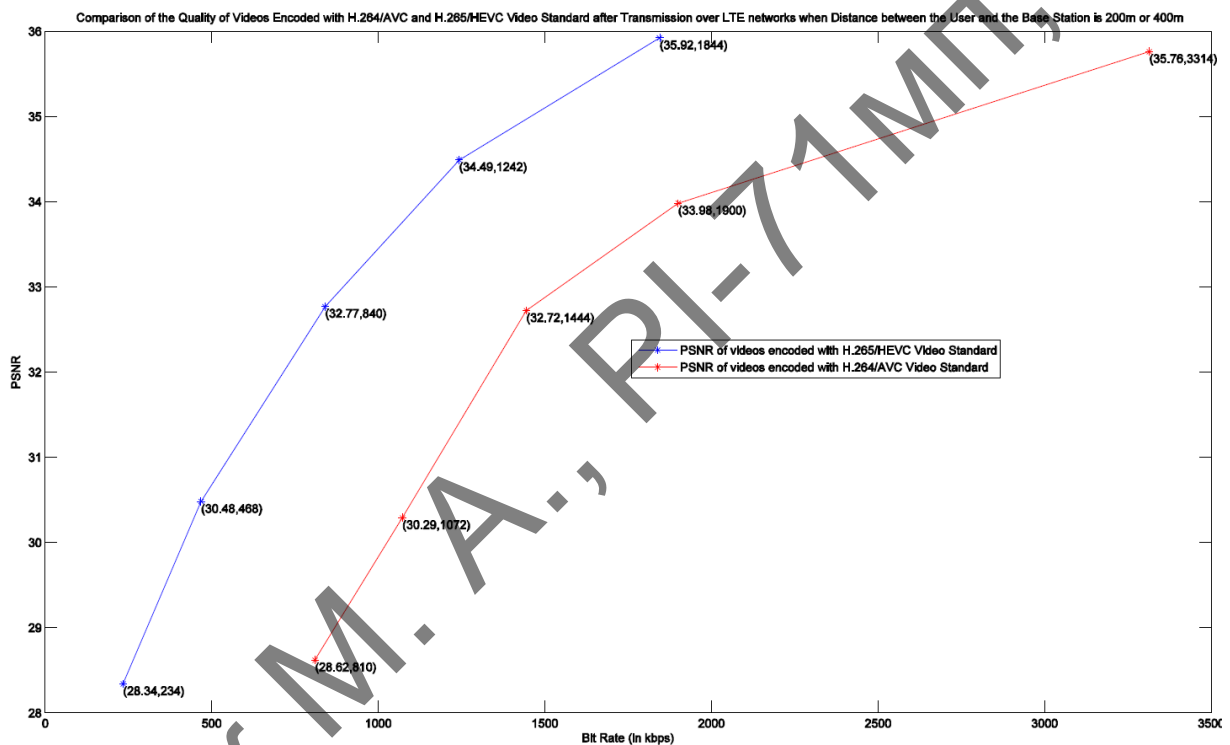
Кількість користувачів	30 (випадково розміщених) + 1 (розглянутий вузол)
Радіус передачі кожної комірки	2 км
Пропускна здатність Downlink	20 МГц
Кількість доступних PRB	100
Використовується відео	test
Роздільна здатність	HD (1280 x 720)
Частота кадрів	50
GoP (група зображень)	G16B15
Кількість кадрів	320
Планувальник Downlink	Exponential Fair Scheduler
Швидкість UE	0 км/г
Структура кадра	FDD
Максимальна затримка	400 мс
Тривалість потоку	20 с
Тривалість моделювання	25 с
Модель втрати шляху	Macro Cell Urban Area
Відстань користувача від БС	Змінна

Таблиця 3.8 – значення PSNR відео, отриманих на різних відстанях

Кодек	PSNR відео без втрат	Відстань користувача від базової				
		200 m	400 m	600 m	800 m	1000 m
avc 810 kbps	28,62	28,62	28,62	28,62	28,62	28,62
avc 1072 kbps	30,29	30,29	30,29	30,29	30,29	29,82
avc 1444 kbps	32,72	32,72	32,72	32,72	32,72	27,98
avc 1900 kbps	33,98	33,98	33,98	33,71	31,34	27,66
avc 3314 kbps	35,76	35,76	35,76	31,12	27,84	24,69
hevc 234 kbps	28,34	28,34	28,34	28,34	28,34	28,34
hevc 468 kbps	30,48	30,48	30,48	30,48	30,48	30,48
hevc 840 kbps	32,77	32,77	32,77	32,77	32,77	32,77
hevc 1242 kbps	34,49	34,49	34,49	34,49	34,49	33,53
hevc 1844 kbps	35,92	35,92	35,92	35,92	32,65	30,04

Коли обладнання користувача було розміщено на відстані 200 метрів, а потім за 400 метрів від базова станція, для передачі будь-якого відео не було повідомлено про втрату кадрів (у випадку обох H.264/AVC та H.265). Це пов'язано з тим, що коли користувач близький до базової станції, якість

сигналу хороша, і, таким чином, співвідношення сигнал–шум є порівняно високий тому дані з базової станції можуть передаватися при модуляції та кодуванні яка може підтримувати більш високу швидкість передачі даних . В результаті без втрат передача відео, кодовані за високими бітрейтами, може підтримуватися. Оскільки немає повідомлень про втрату кадрів, порівняння значення PSNR відео, отриманого на цій відстані (показано на малюнку 16), становить копія оригінальної кривої іскорення швидкості, яка була нанесена на рисунок 3.8.



Малюнок 3.8 – Порівняння PSNR отриманих відеороликів (закодovаних стандартами H.264/AVC та HEVC), коли відстань між користувачем і базовою станцією 200 метрів або 400 метрів

Коли користувальницьке обладнання було розміщено на відстані 600 метрів від базової станції, без втрат було передано відео з бітрейтом до 1844 Кбіт / с. Таким чином відео H.264/AVC, закодовані з бітрейтом менше 1844 Кбіт/с та всі відео HEVC спостерігаються на цій відстані без втрат якості. Проте для відео, кодованого з вищими бітрейтами, якість отриманого відео погіршується на цій відстані через нездатність системи LTE підтримувати вищий бітрейт (PSNR на цій відстані середнє). Таким чином, деякі кадри

втрачаються для відеозаписів, які закодовані високим бітрейтом. AVC–відео, закодоване з бітрейтом 3314 кбіт/с, яке спочатку було закодовано для забезпечення якості з PSNR значення 35,76 знижується до значення 31,12 і якості отриманого відео навіть менше, ніж якість відео H.264/AVC, закодованих за швидкістю передачі даних 1900 Кбіт/с та 1444 Кбіт/с. Виявлено також втрати деяких кадрів відео H.264/AVC з бітовою швидкістю 1900 Кбіт/с, тому значення PSNR злегка зменшується до 33,71 з втрати втрат 33,98. Порівняння PSNR отриманих відеороликів (закодованих стандартами H.264/AVC та HEVC) коли відстань між користувачем і базовою станцією становить 600 м, показана на рис. 3.9.

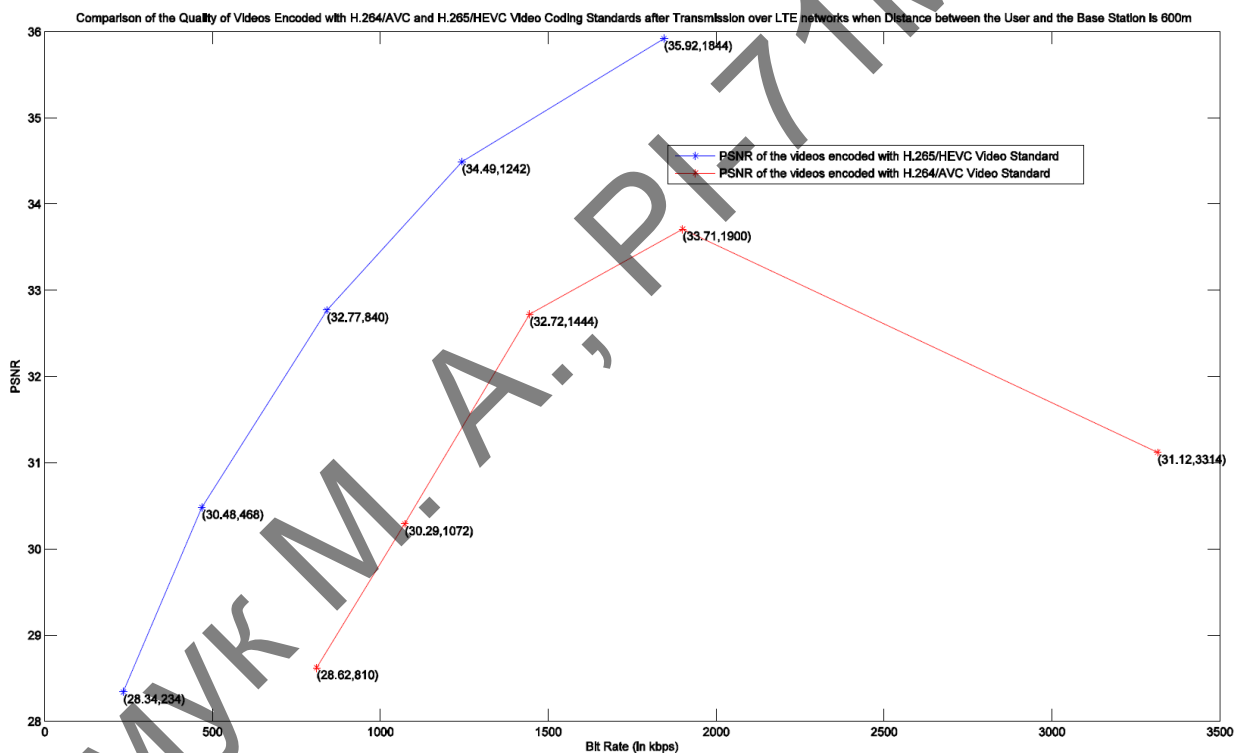


Рисунок 3.9 – Порівняння PSNR отриманих відеороликів (закодованих стандартами H.264/AVC та HEVC, коли відстань між користувачем та базовою станцією становить 600 м

Коли користувальницьке обладнання було розміщено на відстані 800 метрів від базової станції, без втрат було передано відео з бітрейтом до 1444 kbps. Таким чином, подібній тенденції спостерігаються, коли дистанція становила 600 метрів. Однак втрата кадрів на цій відстані є набагато більшою і значення PSNR знижується для відео, кодованого з бітрейтом більше 1444

кбіт/с набагато вище, ніж у випадку, коли відстань становила 600 метрів. Значення PSNR для відео H.264/AVC, закодованого з бітовою швидкістю 3314 Кбіт/с та оригінальним PSNR від 35,76 до 27,84, що навіть нижче, ніж у випадку відео H.264/AVC, кодованого з 810 Кбіт/с. Відео HEVC з бітовою швидкістю 1844 Кбіт / с та оригінальним PSNR 35. 92 передається краще, ніж його аналог AVC, воно також погіршується до 32,65, що є нижчою якістю ніж пропонує HEVC відео, кодоване бітовою швидкістю 1244 кбіт/с та 840 Кбіт/с. Тут спостерігається цікавий результат. Як згадувалося вище, відео HEVC з бітрейтом 1844 kbps, має PSNR 35,92 погіршується до 32,65 на цій відстані. З іншого боку, AVC відео з бітовою швидкістю 1900 Кбіт/с і PSNR 33,98 погіршується до 31,34 (це зменшення на 7,76%). Хоча PSNR значення отриманого відео більше для відео HEVC, здається, що ефект відстані в даному випадку є більш вираженим для відео HEVC, хоча він кодується з трохи нижчою бітовою швидкістю. Поглянувши на висновок LTE-SIM Simulator для цих випадків, причина, у співвідношенні розмірів I-кадрів до B-кадрів. Аналізуючи звіт LTE-SIM для цих дослідів, 16 послідовних кадрів були втрачені (включаючи I-кадр) для відео HEVC та лише 15 кадрів було втрачено у випадку AVC (I кадр не було втрачено). Припускаючи, що умови каналу при передачі обох цих послідовностей однакові (оскільки відстань користувача від базової станції в обох випадках однакова), ми можемо прийняти ту саму кількість даних, які можуть бути відправлені UE. У випадку з відео HEVC цієї групи зображень (всього 16 кадрів) складає розмір 77115 байт і розмір I-кадру становив 63839 байт. Для AVC, розмір для цієї групи зображень (всього 16 кадрів) становив 81392 байтів, розмір I-кадру становив 50053 байтів (що менше, ніж у відео HEVC). Далі аналізуючи вихідний сигнал моделювання LTE-Sim, було встановлено, що базові станції мали потужність передачі 52150 байт для цього потоку, коли цей конкретний GoP прибув на базову станцію для передача. Завдяки цьому було передано I-кадр відео AVC, а решту з 15 кадрів було втрачено. Також всі 16 кадрів було втрачено у випадку відео HEVC, оскільки розмір I кадру більше ніж

пропускна здатність базової станції для цього потоку. Оскільки в нашій роботі, ми вважаємо, що кадр буде правильно прийматися тільки тоді, коли всі біти кадру отримані правильно, цей частково отриманий I-кадр вважається втраченим у випадку відео HEVC. Таким чином, втрата I-кадру може бути пояснена збільшенням співвідношення розмірів I-кадру до B-кадру у випадку стандартного кодування HEVC у порівнянні з стандартним кодуванням H.264 / AVC. Порівняння PSNR отриманих відеороликів (закодовані стандартами H.264/AVC та HEVC), коли відстань між користувачем і базовою станцією становить 800м, наведено на рис. 3.10.

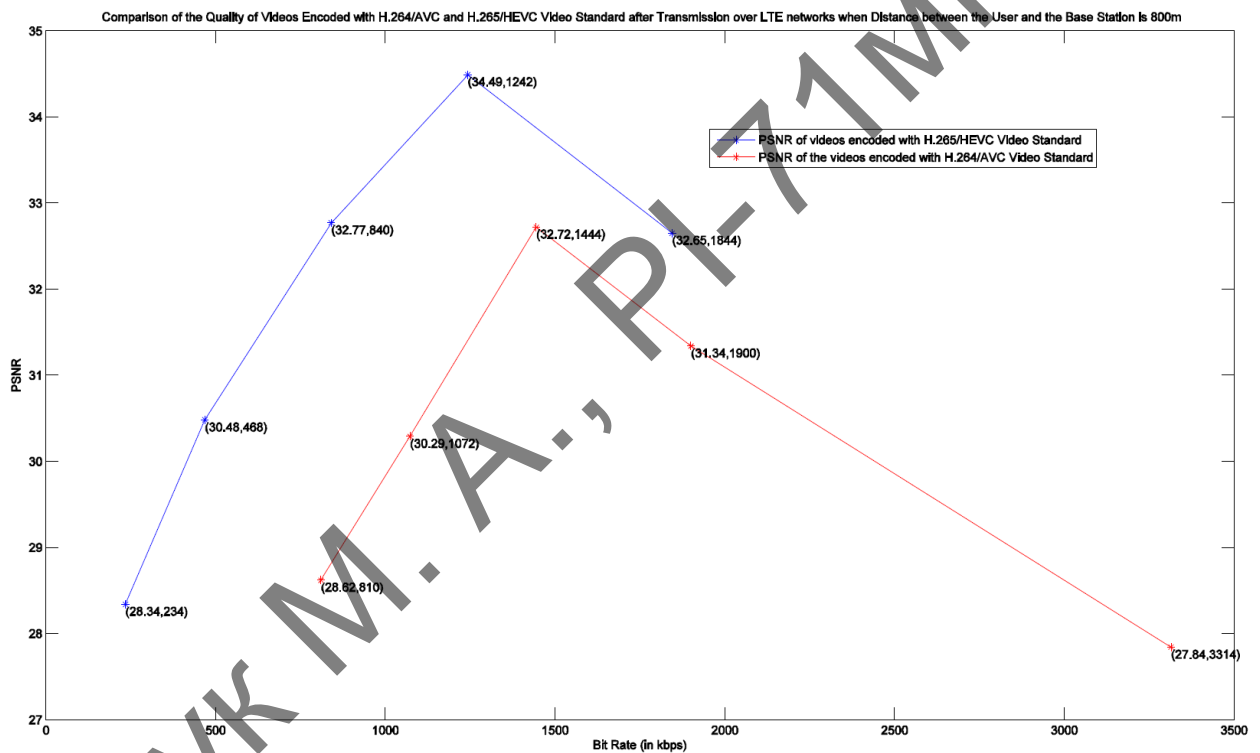


Рисунок 3.10 – Порівняння PSNR отриманих відеороликів (закодованих стандартами H.264/AVC та HEVC), коли відстань між користувачем і базовою станцією становить 800 м

2.4 Оцінка продуктивності алгоритму пропускання кадрів

Щоб оцінити ефективність запропонованого механізму пропускання кадрів, ми передали HD-відео, закодоване з бітрейтом 1072 Кбіт / с та якістю відео зі значенням PSNR 30.28 до користувача на відстані 1200 м від базової станції. Щоб обмежити смугу пропускання, ми поступово збільшували

кількість користувачів у мережі і порівнювали виконання запропонованого механізму пропускання кадрів (що пропускає менш важливі кадри в ієрархічній структурі, коли умови каналу для певного користувача погані) з нормальною передачею відео (що передає всі кадри) за трьома параметрами: отримана якість відео (значення PSNR отриманого відео), коефіцієнт втрати пакетів (PLR) та спектральна ефективність. Деякі важливі параметри, використані для цього моделювання, є перелічені в таблиці нижче.

Таблиця 3.9 – Важливі параметри моделювання

Кількість користувачів	Змінна
Радіус передачі мережі	2 км
Пропускна здатність Downlink	5 МГц
Кількість доступних PRB	25
Використовується відео	test
Роздільна здатність	HD (1280 x 720)
Частота кадрів	50
GoP (група зображень)	G16B15
Кількість кадрів	320
Планувальник Downlink	Exponential Fair Scheduler
Швидкість користувача	0 км /Г
Структура кадра	FDD
Максимальна затримка	500 мс
Тривалість моделювання	25 с
Відстань між базовою станцією та користувачем	1200 м
Затримка	300 мс
Модель втрати шляху	Macro Cell Urban Area

PSNR відео, отриманого через звичайну передачу відео та з алгоритмом пропускання кадрів по відношенню до кількості користувачів показав такі результати (рис. 3.11), що коли кількість користувачів у мережі менше, значення PSNR відео отриманого користувачем із викорис–танням традиційного механізму передачі, краще, ніж якість відео отриманого користувачем із використанням запропонованого алгоритму пропускання кадрів. Це тому, що, хоча й індекс якості каналу (Channel Quality Index CQI) відправлений користувачем до базової станції, вказує на те, що якість каналу для користувача є низькою, пропускна здатність доступна у базовій станції

для користувача все ще висока (коли кількість користувачів менше, пропускна здатність не обмежена). Однак в алгоритмі пропускання кадрів, який ми використовуємо, кадри пропускаються в залежності від значення CQI, що відправляється користувачем на базову станцію. Коли збільшується кількість користувачів, якість відео, отриманого користувачем краще, коли механізм пропускання кадрів використовується, в порівнянні з випадком, коли звичайна передача схема зайнята. Різниця в значеннях PSNR відео, отриманих між двома випадками збільшується зі збільшенням кількості користувачів, показуючи ефективність алгоритму пропускання кадрів коли умови каналу середні, а ресурси пропускної спроможності обмежені. Цю кращу якість відео в разі механізму пропускання кадрів можна пояснити двома причинами. По–перше, механізм пропускання кадрів делікатно покращує відео, пропускаючи менш важливі кадри, хоча традиційна передача відео може мати кращу пропускну спроможність для конкретного користувача, але кадри вищого тимчасового шару можуть передаватися за вартістю кадрів нижчого тимчасового шару. По–друге, коли умови каналу є середніми, алгоритм пропускання кадрів уникає накопичення великої черги для потоку відео, що може призвести до втрати кадрів в традиційній передачі відео.

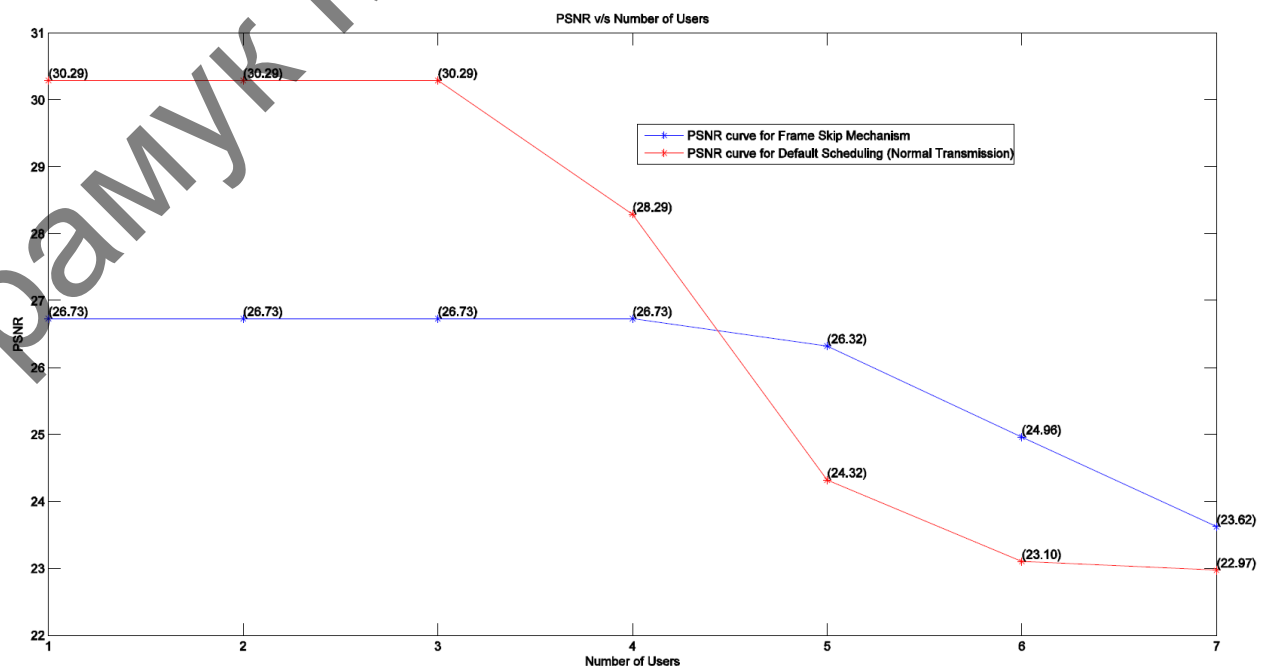


Рисунок 3.11 – Порівняння якості відео, отриманого за допомогою звичайної передачі відеосигналу та алгоритму пропускання кадрів по відношенню до різної кількості користувачів

Таблиця 3.10 – Порівняння якості відео, отриманого за допомогою звичайної передачі відеосигналу та алгоритму пропускання кадрів по відношенню до різної кількості користувачів

Номер користувача	1	2	3	4	5	6	7
PSNR (Алгоритм пропускання кадрів)	26.73	26.73	26.73	26.73	26.32	24.96	23.62
PSNR (Звичайна передача)	30.29	30.29	30.29	28.29	24.32	23.1	22.97

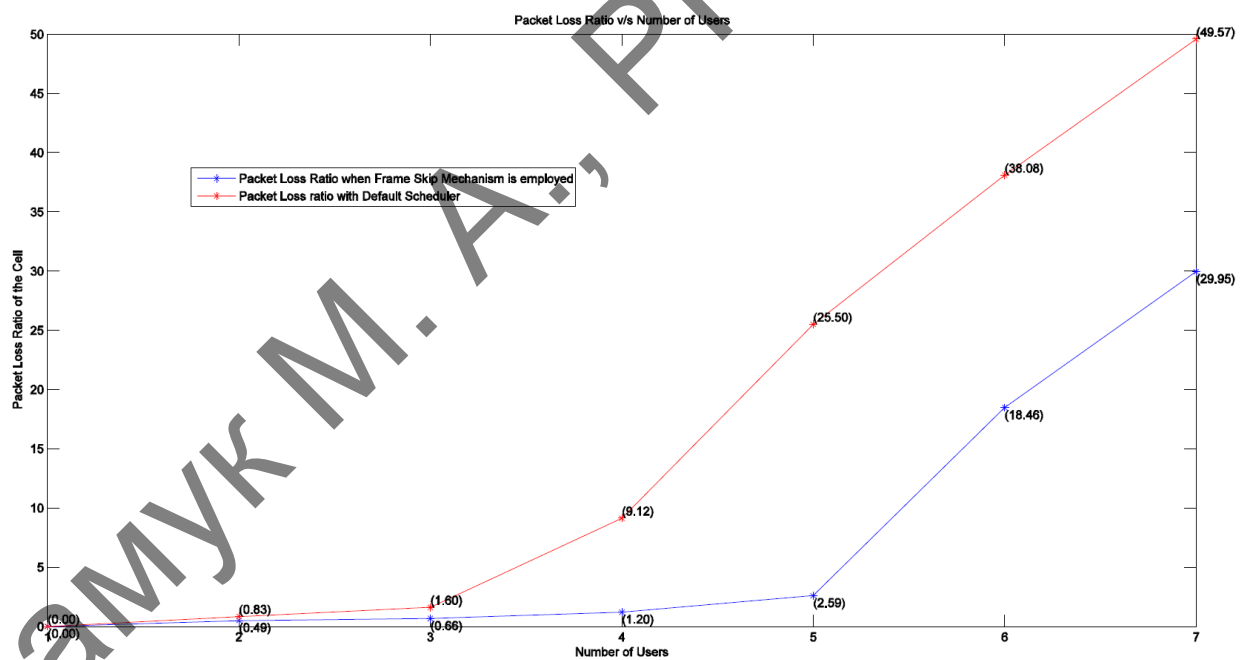


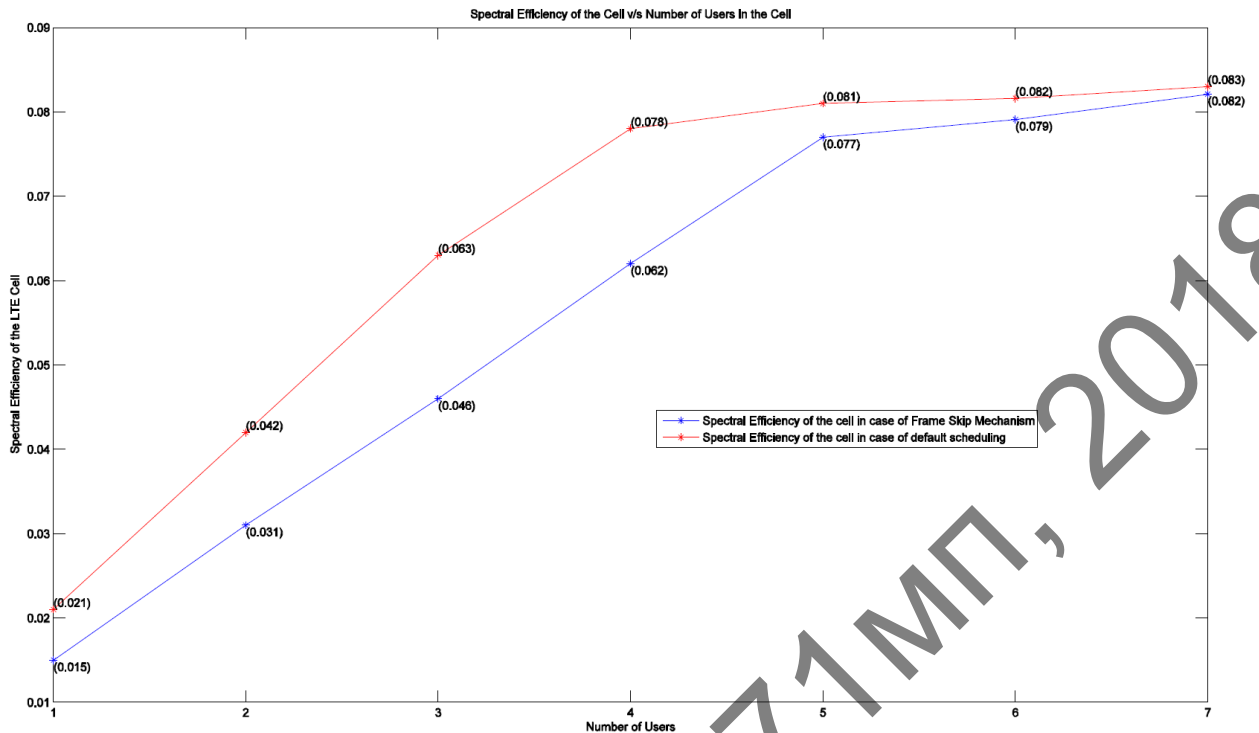
Рисунок 3.12 – Порівняння коефіцієнта втрати пакетів у мережі LTE при використанні звичайного методу передачі та алгоритму передачі пропускання кадрів по відношенню до різної кількості користувачів

Розглянемо коефіцієнт втрати пакетів (Packet Loss Ratio PLR) для всієї мережі для цих двох алгоритмів. На рис. 21 показані криві, які відображають порівняння PLR між двома механізмами. У таблиці 16 показані відповідні

дані. Виконання запропонованого механізму пропускання кадрів помітно краще, ніж традиційний метод передачі, коли ресурси пропускну́ї спроможності стають обмеженими. Це показує, що запропонований механічний пропускну́ї алгоритм не тільки забезпечує кращу якість відео для окремих користувачів, які стикаються з поганим станом каналу, але також може допомогти в підвищенні продуктивності планувальника LTE на звільнення ресурсів пропускну́ї здатності для використання іншими користувачами, тим самим зменшуючи коефіцієнт втрати пакетів мережі взагалі.

Таблиця 3.11: Порівняння співвідношення втрат пакетів у LTE при використанні звичайного методу та алгоритму пропускання кадрів щодо різної кількості користувачів

Кількість користувачів	Коефіцієнт втрати пакетів (Frame Skip Mechanism)	Коефіцієнт втрати пакетів
1	0	0
2	0,49	0,83
3	0,66	1,6
4	1,2	9,12
5	2,59	25,5
6	18,46	38,08
7	29,95	49,57



На рисунку 3.13 показано порівняння спектральної ефективності, досягнутої базовою станцією мережі для двох випадків (механізм пропускання кадрів і традиційна передача відео). Дані що відповідають рисунку наведено в таблиці 3.12.

Результати показують, що ККД нижчий для алгоритму пропускання кадрів, ніж традиційного механізму передачі відеосигналу. Це не є негативним результатом, оскільки слово «ефективність» може бути неправильним у нашому випадку. Загалом використовується спектральна ефективність як порівняння ефективностей двох планувальників. Оскільки той самий (EXP-PF Scheduler) планувальник використовується для обох випадків, нижча спектральна ефективність у нашому аналізі перевіряється лише так, що ресурси меншої пропускної спроможності споживаються у випадку використання механізму пропускання кадрів.

Таблиця 3.12 – Порівняння спектральної ефективності мережі та кількості користувачів у мережі у випадках, коли виконується нормальна передача відеосигналу, і в разі пропускання кадрів.

Кількість користувачів	Спектральна ефективність (звичайний метод)	Спектральна ефективність (Frame Skip Mechanism)
1	0,021	0,015
2	0,042	0,031
3	0,063	0,046
4	0,078	0,062
5	0,081	0,077
6	0,0816	0,0791
7	0,083	0,0812

Аврамук М. А., РІ-71МП, 2018

3 ПОТОКОВЕ ВІДЕО ЗАСОБАМИ FFSERVER ТА FFMPEG

3.1 Опис технології

Для організації трансляції нам буде потрібно:

- Операційна система Windows 10
- FFmpeg (включає в себе ffmpeg)

FFmpeg – це набір вільних бібліотек з відкритим вихідним кодом, які дозволяють записувати, конвертувати і передавати цифрове аудіо та відео в різних форматах. Він включає libavcodec, бібліотеку кодування і декодування аудіо та відео і libavformat, бібліотеку мультиплексування і демультіплексування в медіаконтейнер. Назва походить від назви експертної групи MPEG і «FF», що означає «fast forward».

FFServer йде в комплекті з ffmpeg і виконує роль медіа-сервера – отримує відеопотік від ffmpeg (рис. 3.14), який може бути запущений на іншій машині, і роздає його користувачам.

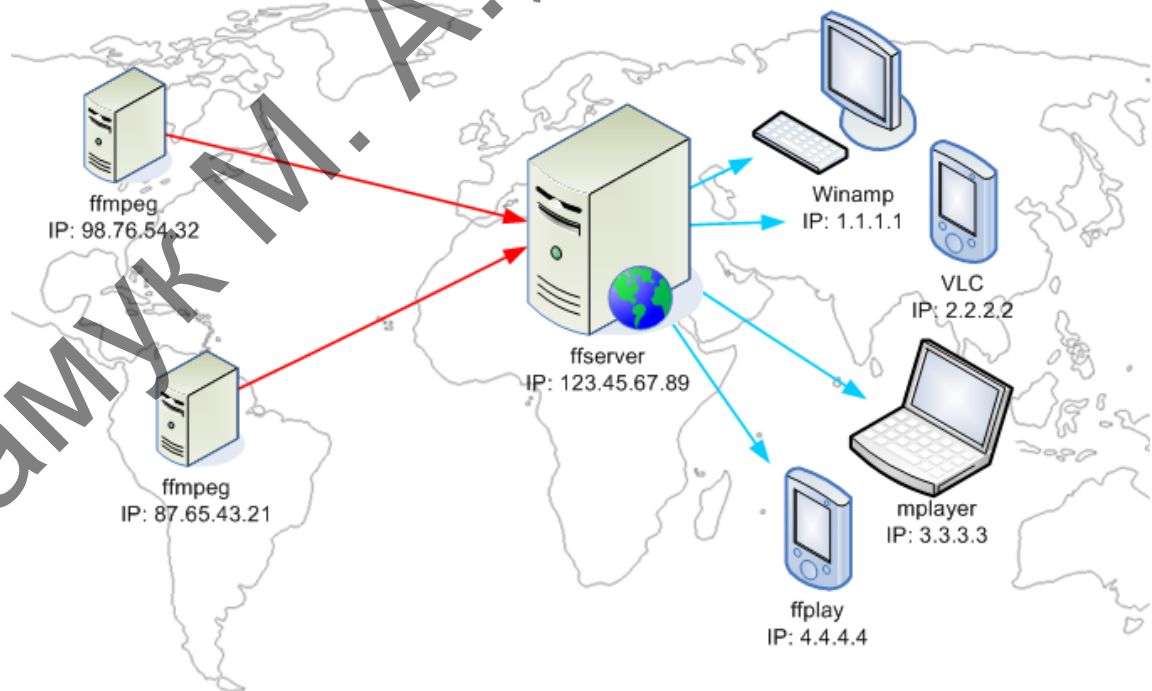


Рисунок 3.14 – Схема передачі за допомогою через ffmpeg/ffserver

Різні джерела вхідних даних (програми ffmpeg) можуть використовуватися для передачі трансляційного сервера (ffserver) з

мультимедійним вмістом, який буде розповсюджуватися для декількох клієнтів для перегляду. Мета наведеного зображення – це візуально показати здатність розділити частину потокової системи на частини, які можуть бути розгорнуті по всьому світу, що дозволяє транслювати різні події у прямому ефірі без необхідності змінювати структуру потокової мультимедійної системи.

Структура ffserver показана на рис. 3.15:

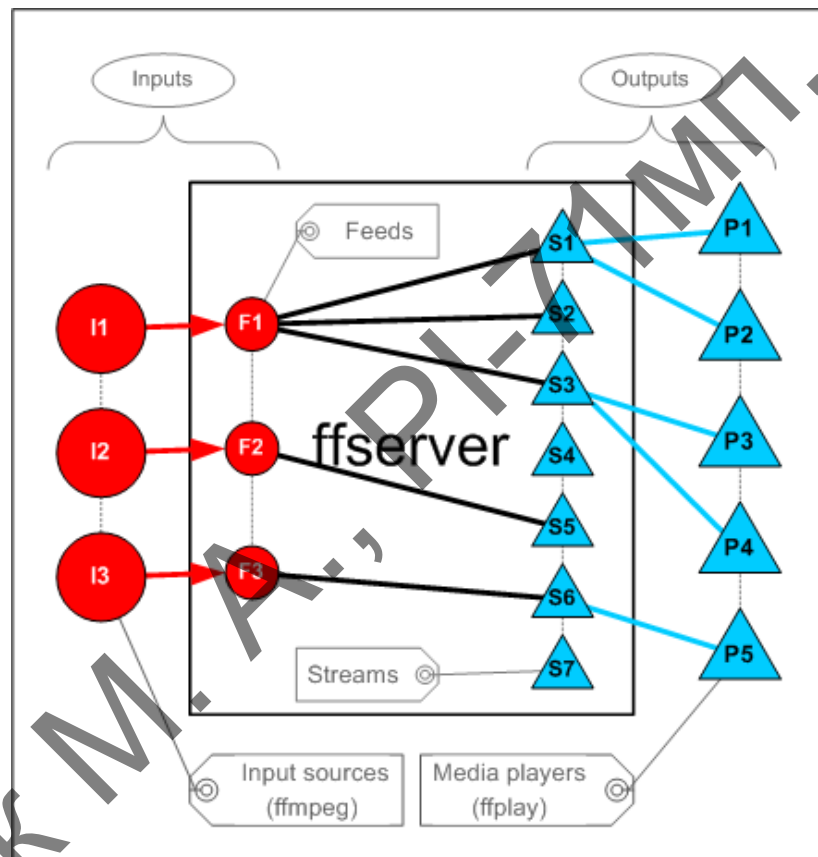


Рисунок 3.15 – Схема роботи ffserver

На зображенні показано кілька елементів.

- Джерела входу (I)
- Канали (F)
- Потоки (S)
- Медіаплеєри (P)

Джерела входу не є частиною внутрішньої структури ffserver tool, а представляють зовнішні програми (зазвичай ffmpeg), які можуть передавати аудіо / відео потоки на ffserver, які будуть розповсюджуватися (транслювати)

всім глядачам (медіаплеєрам). Оскільки `ffmpeg` в основному використовується як джерело введення, ми опишемо його у цьому документі.

Існуючі джерела підключаються до `ffserver` і зв'язуються з одним або декількома каналами, якщо ці канали не пов'язані з якимсь іншим джерелом вхідного сигналу в той момент. Зв'язування одного джерела вхідного сигналу з кількома каналами можливе і має сенс тільки в тому випадку, якщо джерело вхідного сигналу може створювати різні джерела струму для кожного каналу, до якого він зобов'язаний. Для джерела вхідного сигналу не потрібно забезпечити один і той самий потоковий вхід для декількох каналів, оскільки `ffserver` вже вміє пов'язувати один канал з кількома вихідними потоками.

Елемент каналу – це внутрішня частина `ffserver`, яка має мету пов'язати одне джерело вхідного сигналу з одним або декількома вихідними потоками. Можливість пов'язати канал з більшою кількістю вихідних потоків корисно, якщо ви хочете потік одного джерела вхідного сигналу (наприклад, вашої веб-камери з аудіосистемою) за допомогою декількох різних вихідних форматів (наприклад, потокове повноцінне відео HD та невеликий попередній перегляд відео для мобільних телефонів) одночасно. Коротко кажучи, кожен елемент подачі логічно представляє кожен з ваших джерел введення. Це можна розглядати як "вхідний роз'єм" `ffserver`'у, до якого підключаються аудіо / відео джерела.

Елемент потоку – це внутрішня частина `ffserver` і представляє точку з'єднання для всіх ваших глядачів, які бажають отримати певний потік. Наприклад, якщо ви хочете передавати по одному відео Full HD та невеликий попередній перегляд відео для мобільних телефонів, ви створите один елемент подачі (для підключення вашого вводу) і пов'яжете його з двома елементами потоку (який визначатиме різний розмір кадру, тип кодування та / або формат виводу). Кожен елемент потоку може обробляти декілька сполучених клієнтів, як один веб-сервер може обробляти декілька веб-клієнтів. Це можна розглядати як "вихідний роз'єм" `ffserver`, до якого ваші глядачі (мультимедійні плеєри) можуть підключитися для перегляду потоку

аудіо / відео. Очевидна різниця між елементом живлення та елементом потоку (між входом / вихідним гніздом) полягає в тому, що один елемент потоку може обробляти декілька з'єднань із глядачами.

Елементи медіа-плеєра не є внутрішньою частиною ffmpeg. Вони просто представляють глядачів із "зовнішнього світу", які підключаються до різних елементів потоку для перегляду мультимедійного вмісту. Деякі з популярних медіа – плеєрів: ffplay , VLC , Winamp , Windows Media Player тощо.

3.2 Запуск серверу ffmpeg

Підготовка файлу конфігурації:

```

1 Port 8090
2 BindAddress 0.0.0.0
3 udpPort 5554
4 udpBindAddress 127.0.0.1
5 MaxClients 100
6 MaxBandwidth 20000
7
8 <Feed feed.ffm>
9 File feed.ffm
10 FileMaxSize 3000M
11 </Feed>
12
13 <Stream test.mkv>
14 udpOption udp_transport tcp
15 udpOption udp_flags listen
16
17
18 Feed feed.ffm
19 Format matroska
20 VideoCodec libx265
21 VideoFrameRate 800
22 VideoBufferSize 10000
23 VideoBitRate 5000
24 VideoSize 1920x1080
25
26 AVOptionVideo libx265:crf 30
27
28 AVOptionVideo libx265:preset fast
29
30 AVOptionVideo libx265:me_range 16
31
32 AVOptionVideo libx265:qdiff 4
33
34 AVOptionVideo libx265:qmin 10
35
36 AVOptionVideo libx265:qmax 51
37
38 AVOptionVideo libx265:flags +global_header
39 </Stream>

```

Рисунок 3.16 – Код файлу конфігурації

У файлі конфігурації вказуємо такі параметри як, стандарт кодування, протокол передачі, роздільну здатність, бітрейт тощо.

Запуск ffserver:

```
ffserver -f ffserver.conf
```

Система читає параметри конфігурації і створює віртуальний сервер з відповідними параметрами даних які будуть на ньому зберігатись.

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - ffserver -f ffserver.conf -d
C:\Users\nikalja>ffserver -f ffserver.conf -d
ffserver version 2.5.4 Copyright (c) 2000-2015 the FFmpeg developers
  built on Mar 23 2015 18:19:23 with gcc 4.9.2 (GCC)
  configuration: --disable-zlib --cpu=i686 --target-os=mingw32 --enable-libx264 --enable-gpl --prefix=/usr/local --extra-cflags=-I/usr/local/include --extra-ldflags='-L/usr/local/lib -static-libgcc' --enable-memalign-hack --disable-indev=dshow --disable-doc --disable-debug --disable-iconv --disable-shared --disable-ffplay --disable-ffprobe --disable-ffmpeg --enable-static --enable-ffserver --enable-small
  libavutil      54. 15.100 / 54. 15.100
  libavcodec     56. 13.100 / 56. 13.100
  libavformat    56. 15.102 / 56. 15.102
  libavdevice    56.  3.100 / 56.  3.100
  libavfilter     5.  2.103 /  5.  2.103
  libswscale     3.  1.101 /  3.  1.101
  libswresample  1.  1.100 /  1.  1.100
  libpostproc   53.  3.100 / 53.  3.100
ffserver.conf:1: Port option is deprecated, use HTTPPort instead
ffserver.conf:2: BindAddress option is deprecated, use HTTPBindAddress instead
ffserver.conf:29: Setting default value for video bit rate tolerance = 200000. Use NoDefaults to disable it.
ffserver.conf:29: Setting default value for video rate control equation = tex^qComp. Use NoDefaults to disable it.
ffserver.conf:29: Setting default value for video max rate = 1600000. Use NoDefaults to disable it.
ffserver.conf:29: Setting default value for video buffer size = 1600000. Use NoDefaults to disable it.
ffserver.conf:46: Setting default value for video bit rate tolerance = 200000. Use NoDefaults to disable it.
ffserver.conf:46: Setting default value for video rate control equation = tex^qComp. Use NoDefaults to disable it.
ffserver.conf:46: Setting default value for video max rate = 1600000. Use NoDefaults to disable it.
ffserver.conf:46: Setting default value for video buffer size = 1600000. Use NoDefaults to disable it.
Thu Dec 13 17:16:25 2018 FFserver started.
```

Рисунок 3.17

Повідомлення «FFserver started» говорить про успішний запуск серверу.

3.3 Запуск FFMpeg

На сервер ffserver відправляємо відео файл з назвою test.mkv який, як і всі бібліотеки ffmpeg мають знаходитись в домашньому каталозі користувача.

Відеофайл має наступні параметри (рис.3.18):

- Відеокодек: H.265(HEVC)
- Аудіокодек: AC3
- Частота кадрів: 24

- Розширення: 1920x1080
- Бітрейт: 2800 Мб

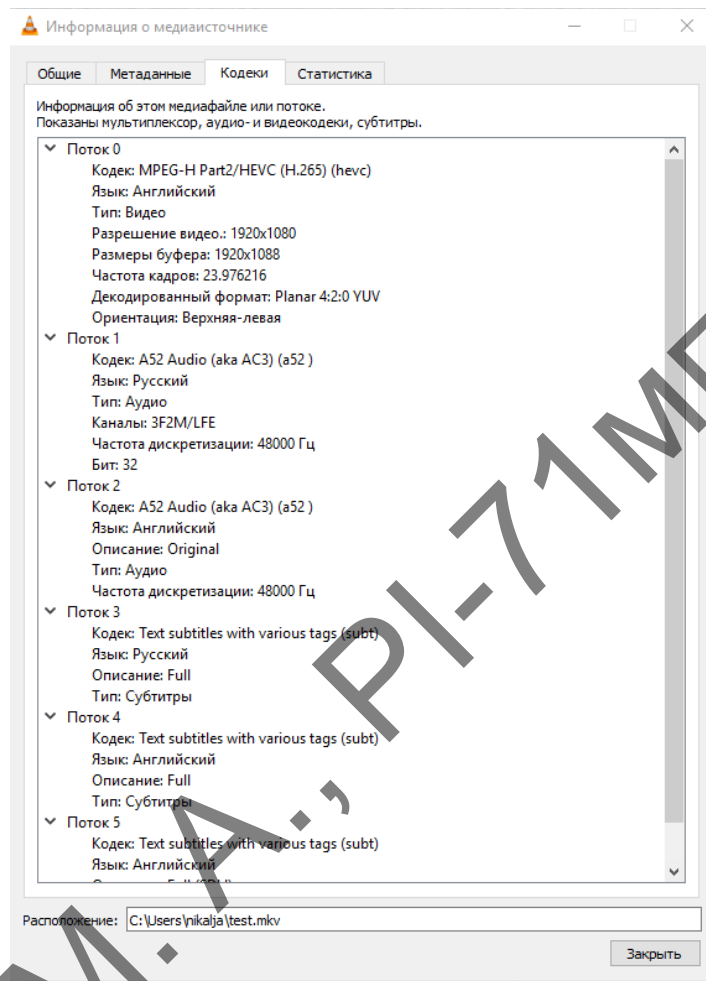


Рисунок 3.18

Команда для запуску:

```
ffmpeg -i test.mkv -f mpegts udp://127.0.0.1:10000
```

Відправляємо тестове відео потоком MPEG transport stream (MPEG-TS). Це стандартний формат для передачі та зберігання аудіо, відео, і даних. Потік буде йти в нашу ж систему. Тому задаємо IP адресу localhost (127.0.0.1). Використовуємо протокол User Datagram Protocol, UDP — один із протоколів в стеку TCP/IP.

Про успішний запуск свідчить початок підрахунку кадрів, бітрейту, якості в реальному часі (рис.3.19)

```

Командная строка
_STATISTICS_WRITING_APP-eng: mkvmerge v24.0.0 ('Beyond The Pale') 64-bit
_STATISTICS_WRITING_DATE_UTC-eng: 2018-09-24 12:55:16
_STATISTICS_TAGS-eng: BPS DURATION NUMBER_OF_FRAMES NUMBER_OF_BYTES
encoder      : Lavc57.107.100 mp2
frame= 34 fps=0.0 q=16.9 size= 573kB time=00:00:01.74 bitrate=2696.4kbits/s speed=3.39x
frame= 45 fps= 43 q=24.8 size= 2096kB time=00:00:02.12 bitrate=8077.5kbits/s speed=2.03x
frame= 59 fps= 37 q=24.8 size= 3925kB time=00:00:02.67 bitrate=12006.3kbits/s speed= 1.7
frame= 74 fps= 35 q=24.8 size= 5866kB time=00:00:03.30 bitrate=14552.3kbits/s speed=1.57
frame= 102 fps= 39 q=31.0 size= 7163kB time=00:00:04.69 bitrate=12501.8kbits/s speed= 1.8
frame= 145 fps= 46 q=31.0 size= 7870kB time=00:00:06.34 bitrate=10152.4kbits/s speed=2.04
frame= 195 fps= 53 q=31.0 size= 8157kB time=00:00:08.46 bitrate=7896.3kbits/s speed=2.31x
frame= 223 fps= 54 q=31.0 size= 8831kB time=00:00:09.70 bitrate=7450.8kbits/s speed=2.33x
frame= 246 fps= 53 q=24.8 size= 9427kB time=00:00:10.64 bitrate=7254.3kbits/s speed=2.28x
frame= 269 fps= 52 q=31.0 size= 10054kB time=00:00:11.50 bitrate=7156.0kbits/s speed=2.22x
frame= 291 fps= 51 q=31.0 size= 10643kB time=00:00:12.51 bitrate=6964.7kbits/s speed= 2.2x
frame= 315 fps= 51 q=31.0 size= 11232kB time=00:00:13.38 bitrate=6875.7kbits/s speed=2.16x
frame= 339 fps= 50 q=31.0 size= 11837kB time=00:00:14.50 bitrate=6683.0kbits/s speed=2.15x
frame= 364 fps= 50 q=31.0 size= 12435kB time=00:00:15.54 bitrate=6554.4kbits/s speed=2.14x
frame= 388 fps= 50 q=31.0 size= 13005kB time=00:00:16.40 bitrate=6493.7kbits/s speed= 2.1x
frame= 412 fps= 49 q=31.0 size= 13622kB time=00:00:17.67 bitrate=6312.7kbits/s speed=2.12x
frame= 436 fps= 49 q=24.8 size= 14253kB time=00:00:18.56 bitrate=6288.9kbits/s speed= 2.1x
frame= 460 fps= 49 q=24.8 size= 14875kB time=00:00:19.62 bitrate=6210.9kbits/s speed= 2.1x
frame= 483 fps= 49 q=31.0 size= 15422kB time=00:00:20.46 bitrate=6174.4kbits/s speed=2.07x
frame= 509 fps= 49 q=31.0 size= 16037kB time=00:00:21.70 bitrate=6051.3kbits/s speed=2.09x
frame= 532 fps= 49 q=31.0 size= 16766kB time=00:00:22.47 bitrate=6116.4kbits/s speed=2.07x
frame= 551 fps= 48 q=31.0 size= 17476kB time=00:00:23.43 bitrate=6108.0kbits/s speed=2.06x
frame= 581 fps= 49 q=31.0 size= 17959kB time=00:00:24.70 bitrate=5953.9kbits/s speed=2.08x
frame= 617 fps= 50 q=31.0 size= 18328kB time=00:00:25.95 bitrate=5784.2kbits/s speed=2.09x
frame= 652 fps= 51 q=31.0 size= 18671kB time=00:00:27.75 bitrate=5510.4kbits/s speed=2.15x
frame= 684 fps= 51 q=24.8 size= 18996kB time=00:00:29.00 bitrate=5364.9kbits/s speed=2.16x
frame= 717 fps= 52 q=31.0 size= 19280kB time=00:00:30.22 bitrate=5224.7kbits/s speed=2.17x
frame= 747 fps= 52 q=31.0 size= 19613kB time=00:00:31.50 bitrate=5100.3kbits/s speed=2.18x
frame= 773 fps= 52 q=31.0 size= 19871kB time=00:00:32.55 bitrate=4999.9kbits/s speed=2.18x
frame= 807 fps= 52 q=31.0 size= 20223kB time=00:00:33.00 bitrate=4886.7kbits/s speed=2.19x
frame= 836 fps= 52 q=31.0 size= 20660kB time=00:00:35.17 bitrate=4811.7kbits/s speed= 2.2x
frame= 865 fps= 52 q=31.0 size= 21055kB time=00:00:36.46 bitrate=4729.5kbits/s speed= 2.2x
frame= 896 fps= 53 q=31.0 size= 21472kB time=00:00:37.71 bitrate=4663.5kbits/s speed=2.21x
frame= 924 fps= 53 q=31.0 size= 21828kB time=00:00:38.98 bitrate=4586.2kbits/s speed=2.22x
frame= 954 fps= 53 q=31.0 size= 22261kB time=00:00:40.26 bitrate=4529.5kbits/s speed=2.23x
frame= 981 fps= 53 q=31.0 size= 22626kB time=00:00:41.29 bitrate=4488.6kbits/s speed=2.22x
frame= 1003 fps= 52 q=31.0 size= 22975kB time=00:00:42.08 bitrate=4472.1kbits/s speed= 2.2x
frame= 1030 fps= 53 q=31.0 size= 23411kB time=00:00:43.23 bitrate=4435.4kbits/s speed= 2.2x
frame= 1059 fps= 53 q=31.0 size= 23893kB time=00:00:44.58 bitrate=4390.3kbits/s speed=2.21x
frame= 1090 fps= 53 q=31.0 size= 24353kB time=00:00:45.87 bitrate=4348.4kbits/s speed=2.22x
frame= 1120 fps= 53 q=31.0 size= 24816kB time=00:00:47.26 bitrate=4300.7kbits/s speed=2.23x
frame= 1144 fps= 53 q=31.0 size= 25071kB time=00:00:47.91 bitrate=4286.1kbits/s speed=2.21x
frame= 1174 fps= 53 q=31.0 size= 25405kB time=00:00:49.45 bitrate=4208.2kbits/s speed=2.23x
frame= 1210 fps= 53 q=31.0 size= 25880kB time=00:00:50.70 bitrate=4181.6kbits/s speed=2.24x
frame= 1240 fps= 53 q=31.0 size= 26322kB time=00:00:51.97 bitrate=4148.9kbits/s speed=2.24x
frame= 1268 fps= 54 q=31.0 size= 26689kB time=00:00:53.26 bitrate=4104.4kbits/s speed=2.25x
frame= 1304 fps= 54 q=31.0 size= 27008kB time=00:00:54.66 bitrate=4047.6kbits/s speed=2.26x
frame= 1330 fps= 54 q=31.0 size= 27233kB time=00:00:55.71 bitrate=4004.0kbits/s speed=2.26x
frame= 1364 fps= 54 q=31.0 size= 27575kB time=00:00:57.25 bitrate=3945.5kbits/s speed=2.27x
frame= 1393 fps= 54 q=31.0 size= 27871kB time=00:00:58.57 bitrate=3897.9kbits/s speed=2.28x
frame= 1433 fps= 55 q=31.0 size= 28148kB time=00:01:00.10 bitrate=3836.1kbits/s speed=2.29x
frame= 1466 fps= 55 q=31.0 size= 28377kB time=00:01:01.38 bitrate=3787.2kbits/s speed= 2.3x
frame= 1502 fps= 55 q=31.0 size= 28697kB time=00:01:03.01 bitrate=3730.7kbits/s speed=2.31x
frame= 1530 fps= 55 q=31.0 size= 29024kB time=00:01:04.06 bitrate=3711.0kbits/s speed=2.31x
frame= 1560 fps= 55 q=31.0 size= 29294kB time=00:01:05.31 bitrate=3673.9kbits/s speed=2.31x
frame= 1590 fps= 55 q=31.0 size= 29561kB time=00:01:06.70 bitrate=3630.1kbits/s speed=2.32x
frame= 1621 fps= 55 q=31.0 size= 29779kB time=00:01:07.90 bitrate=3592.2kbits/s speed=2.32x
frame= 1644 fps= 55 q=31.0 size= 30192kB time=00:01:08.94 bitrate=3587.5kbits/s speed=2.32x
frame= 1670 fps= 55 q=31.0 size= 30645kB time=00:01:09.99 bitrate=3586.5kbits/s speed=2.31x

```

Рисунок 3.19

3.4 Медіаплеєр ffplay

Перевіряємо дієздатність нашого відео потоку за допомогою медіаплеєра ffplay тієї ж групи бібліотек ffmpeg (рис.3.20):

```
ffplay -i udp://127.0.0.1:10000
```



Рисунок 3.21

Потік буде відправлятися на сервер поки вхідний файл не закінчиться. Після чого робота програми зупиниться. Якість картинки у користувача дуже чітка і стабільна. Що говорить про те, що не обов'язково купувати сервери за тисячі доларів для того щоб запустити і відтворити потокові відео.

Для тестування використали систему з такими характеристиками:

- Процесор: Intel(R) Core i3-2100 CPU @ 3.10 GHz
- Оперативна пам'ять: 12 Гб
- Графічна карта: AMD Radeon Graphics Processor 4 Гб
- ОС Windows 10

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

4.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Передача відео потоку стисненого кодеком H.265/HEVC через 4G стільникові мережі	Виробництво	Збільшення якості і стабільності відеосигналу
	Наука	

Основним конкурентом розроблюваному проекту є компанія LiveU, яка є лідером в області передачі відео в режимі прямої трансляції на основі протоколу IP, а також професійних рішень для придбання, управління і поширення відео. Розроблена модель дозволяє зекономити десятки тисяч доларів. Це основна перевага.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1	Простота					✓

2	Дешевизна					✓
3	Швидкодія					✓

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Для реалізації цього проекту потрібно вибрати мову програмування чи середовище програмування. Оглянуто три варіанта:

1. Mathcad—система комп'ютерної алгебри з класу систем автоматизованого проектування, орієнтована на підготовку інтерактивних документів з обчисленнями і візуальним супроводженням, відрізняється легкістю використання і застосування для колективної роботи.
2. Мова програмування C++ — мова програмування високого рівня з підтримкою кількох парадигм програмування: об'єктно-орієнтованої, узагальненої та процедурної.
3. Командна оболонка bash — найпоширеніша оболонка під Linux . Вона вмє доповнювати імена команд і файлів, веде історію команд та надає можливість їх редагування.

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Передача відео потоку	Mathcad	Так	Так
2	стисненого кодеком	C++	Так	Ні
3	H.265/HEVC через 4G стільникові мережі	bash	Так	Так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: bash				

Даний проект можливо реалізувати і в якості технологічного шляху обрано bash.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту

В межах даного підрозділу проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Визначення ринкових можливостей дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів–конкурентів.

Таблиця 4.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап–проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1
2	Загальний обсяг продаж, ум. од.	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Невідома
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	Невідома

За результатами аналізу важно зробити висновок щодо привабливості для входження за попереднім оцінюванням.

Визначимо потенційні групи клієнтів.

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап–проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Передача відео потоку	Науковці,	Невідомі	Точність,

	стисненого кодеком Н.265/HEVC через 4G стільникові мережі	розробники радіоелектронної апаратури		швидкість обрахунку, адекватність результату
--	---	---------------------------------------	--	--

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 4.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал ПЗ конкурентів	Впровадження нового функціоналу у LiveU, аналогічного до розроблюваного у цьому проекті	Вихід з ринку

Таблиця 5.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал у проекті що розробляється	Додавання нових моделей та можливостей у проект, що розроблюється	Розроблення цього функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції — монополістична	Одне підприємство майже зайняло усю	Значний

	нішу	
За рівнем конкурентної боротьби — національне	Дане підприємство відомо по усьому світу	Значний
За галузевою ознакою — внутрішньогалузева	Конкуренція виконується в рамках однієї галузі	Значний
Конкуренція за видами товарів — невідомо	Дане підприємство відомо по усьому світу	Значний
За характером конкурентних переваг — цінова	Товар даного підприємства має дуже високу вартість	Значний

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі.

Таблиця 4.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	LiveU	Невідомо	Невідомо	Невідомо	Невідомо
Висновки	Маючи майже монопольне положення на ринку розробник цього ПЗ не буде приділяти уваги	Є можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо

	розробці				
--	----------	--	--	--	--

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна незважаючи на конкурентну ситуацію. Для поширення продукту він повинен володіти рядом факторів, які відрізняють його від існуючого конкурента.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності

Таблиця 4.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Простота	Дана розробка не вимагає від користувача особливих знань у галузі
2	Дешевизна	Поширюється безкоштовно і кожний має можливість користуватися нею
3	Швидкодія	Розраховуються найкращі показники для конкретного проекту

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 4.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1–20	Рейтинг товарів —конкурентів у порівнянні з проектом, що розробляється						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Простота								
2	Дешевизна								
3	Швидкодія								

Проведемо SWOT-аналіз

Таблиця 5.12 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Простота Дешевизна Швидкодія	Слабкі сторони: Невідома компанія Відсутність стартового капіталу
---	---

Можливості: Розширення функціоналу Нові технології	Загрози: Продукти-замінники
--	--------------------------------

З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Науковці	Готові	Високий	У сегменті значна конкуренція	Важко
2	Розробники	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Важко
Які цільові групи обрано: науковці, розробники ПЗ					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку

1	Диференційований маркетинг	Простота, дешевизна, швидкодія	Стратегія спеціалізації
---	----------------------------	--------------------------------	-------------------------

Виберемо конкурентну поведінку

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкуренту?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Ні	Ні	Заняття конкурентної ніші

Розробимо стратегію позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Точність			

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач.

Таблиця 4.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Передача відеопотоку стисненого кодеком H.265/HEVC через 4G стільникові мережі	Збільшення якості і стабільності відеосигналу	Швидкодія, безкоштовність, точність

Таблиця 4.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Оптимізація показників надійності, що визначаються тепловими режимами в блоці радіоелектронної апаратури
2. Товар у реальному виконанні	Властивості:
	1. Простота
	2. Дешевизна
	3. Швидкодія
	Якість: апробація на готових фізичних моделях
	Пакування: відсутнє
	Марка: відсутня
3. Товар із підкріпленням	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо

Товар не буде якимось чином захищатись від копіювання та буде поширюватись як є.

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари–замінники	Рівень цін на товари–аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	70–100 тис. ум. од.	До 10 тис	Високий	Безкоштовно

Визначимо оптимальну систему збуту

Таблиця 4.21 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Невідома	Вільний доступ до товару	Невідома	Вільний доступ до товару

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій

Таблиця 4.22 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Невідома	Інтернет, наукові публікації	Можливості проекту	Донести про можливості проекту	Донесення про можливості та сильні сторони

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Так як для передачі відеопотоку використовуємо стільникові мережі 4G, які повністю відповідають вимогам ГОСТ12.1.008.84 ДСНП №239 щодо захисту від негативних дій ЕМВ частотного діапазону, то ці пункти у даному розділі не розглядаємо.

В цьому розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії, а також визначено основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

4.6 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково-дослідної роботи.

Оскільки основу роботи складають дослідження із використанням електронно-обчислювальних машин (ВДТ ПЕОМ), існує небезпека ураження електричним струмом, можливий негативний вплив електромагнітного випромінювання ВДТ ПВДТ ПЕОМ.

Основні небезпечні та шкідливі фактори при проведенні наукових досліджень:

- небезпека ураження електричним струмом;
- незадовільні мікрокліматичні умови;
- недостатня освітленість робочих місць;
- наявність електромагнітного випромінювання;
- підвищений рівень шуму;
- наявність шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
- можливість виникнення пожежі тощо;
- група психофізичних факторів: перевантаження фізичне та психологічне;

4.7 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.

4.7.1 Електробезпека

Згідно з ГОСТ 12.2.007.0–75 більша частина електроустаткування в робочому приміщенні (крім ВДТ ПВДТ ПЕОМ – II клас та вимірювальної техніки — 0I клас) відноситься до I класу, так як воно має робочу ізоляцію відповідно до ГОСТ 12.1.009–76 і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення устаткування виконане відповідно до вимог ПУЕ й ДНАОП 0.00–1.21–98.

Приміщення лабораторії не жарке, сухе, відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналом електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більше 35°C, відсутні хімічно агресивні середовища (ПУЕ–2017, ПБЕ й ОНТП24–86), а також відсутня можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі, що мають контакт із землею – з одного боку та до струмопровідних елементів електроустаткування з іншого боку. Живлення електроприладів у робочому приміщенні здійснюється від трьохфазної мережі заземленою та зануленням (тип TN–S) із використанням автоматів максимального струмового захисту. Щоб зменшити значення напруг дотику й відповідних їм величин струму, при нормальному й аварійному режимах роботи електроустаткування необхідно виконати повторне захисне заземлення нульового дроту. Виконаємо електричний розрахунок електромережі на перевірку вимикаючої здатності автоматів струмового захисту.

Є важливим розрахунок на вимикаючу здатність при аварійній ситуації. Для його портібно знайти значення струму K_3 . і перевірити його на кратність стосовно номінального струму пристроїв максимального струмового захисту. Вихідні дані для розрахунку:

- а) $U_{\phi} = 220\text{В}$ — фазова напруга;
- б) кабель чотирьох жильний, матеріал — алюміній ($\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$);
- в) відстань від трансформатора до споживача (L) = 150м;
- г) номінальний струм спрацьовування автомата захисту ($I_{\text{НОМ}}$) = 15 А.

Струм однофазного К.З. визначається по формулі:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_0 + \frac{Zm}{3}} = \frac{220}{0,4 + 0,3 + 0,16} \approx 189 \text{ А,}$$

де:

$R_{\phi} = 0,4 \text{ Ом}$ — активний опір фазного проводу;

$R_0 = 0,3 \text{ Ом}$ — активний опір нульового проводу;

$Zm/3 = 0,16 \text{ Ом}$ — розрахунковий опір трансформатора потужністю 250

Вт.

Кратність струму однофазного короткого замикання стосовно номінального струму спрацьовування автомата захисту. Для надійної роботи автомату захисту повинна виконуватись наступна вимога:

$$K_M = \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{НОМ}}} > 1,25 \quad (I_{\text{к.з.}} > 100 \text{ А})$$

K — коефіцієнт кратності $I_{\text{к.з.}}$ до $I_{\text{НОМ}}$.

Де $I_{\text{к.з.}}$ — струм короткого замикання; $I_{\text{НОМ}}$ — номінальний струм спрацьовування автомата захисту.

Автомат максимального струмового захисту який використовується, має $I_{\text{НОМ СПР.}} = 26 \text{ А}$ та час спрацьовування $< 0,1 \text{ с}$.

Розрахуємо K :

$$K = \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{НОМ}}} = \frac{189}{15} = 12,6$$

З розрахунків видно, що при однофазному К.З. автомат вимкне струм.

При однофазному К.З. максимальне значення напруги яка появиться на корпусі при аварійному режимі за час спрацьовування максимального

струмового захисту, $U_{\max.}$ щодо землі: $U_{\max.} = I_{\text{к.з.}} R_0 = 189 \cdot 0,3 = 56,7 \text{ В}$. Ця напруга менша $U_{\text{доп}} = 500 \text{ В}$ ($t_{\text{дії}} < 0,1 \text{ сек.}$) згідно ГОСТ 12.1.038–88. З метою зниження $U_{\max.}$ як у нормальному, так і у аварійному режимі варто використовувати повторне заземлення нульового дроту.

4.7.2 Правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин

Правила безпеки під час експлуатації ВДТ ПЕОМ регламентуються ДСТУ ISO 9241:6–2004 та ДНАОП 0.00—1.31—99, які встановлюють вимоги безпеки та санітарно-гігієнічні вимоги до обладнання робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ і працівників, що виконують обслуговування, ремонт та налагодження ВДТ ПЕОМ, та роботи з застосуванням ВДТ ПЕОМ, відповідно до сучасного стану техніки та наукових досліджень у сфері безпечної організації робіт з експлуатації ВДТ ПЕОМ та з урахуванням положень міжнародних нормативно-правових актів з цих питань (директиви Ради Європейського союзу 90/270/ЄЕС, 89/391/ЄЕС, 89/654/ЄЕС, 89/655/ЄЕС, стандарти ISO, MPRII).

4.7.3 Вимоги до приміщень в яких розміщені ВДТ ПВДТ ПЕОМ

Облаштування робочих місць, обладнаних ВДТ ПЕОМ, ВДТ, повинно забезпечувати:

- належні умови освітлення приміщення і робочого місця, відсутність відблисків;
- оптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху, рівень іонізації повітря);
- належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця;

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ВДТ ПЕОМ та виконуються їх обслуговування, налагодження і ремонт, повинні відповідати вимогам: СНиП 2.09.02–85 “Производственные здания”, СНиП 2.09.04–87 “Административные и бытовые здания”, “Правил устройства

электроустановок”, затверджених Головдерженергонаглядом СРСР 1984 р. (ПВЕ), “Правил технической эксплуатации электро установок потребителей”, затверджених Головдерженергонаглядом СРСР 21.12.84 (ПТЕ, СНиП 2.08.02–89 “Общественные здания и сооружения” з доповненнями, затвердженими наказом Держкоммістобудування України від 29.12.94 № 106, СН 512–78 “Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно–вычислительных машин”, затверджених Держбудом СРСР, ДСанПіН 3.3.2.–007–98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно–обчислювальних машин“, затверджених МОЗ України 10.12.98.

Заборонено розміщувати робочі місця з ВДТ, ВДТ-ПЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах, поряд з приміщеннями, в яких рівні шуму та вібрації перевищують допустимі значення (поряд з механічними цехами, майстернями тощо), з мокрими виробництвами, з вибухопожежонебезпечними приміщеннями категорій А і Б, а також над такими приміщеннями або під ними.

Приміщення мають бути обладнані системами водяного опалення, кондиціонування або припливно–витяжною вентиляцією відповідно до СНиП 2.04.05–91.

Згідно з ДНАОП 0.00–1.31–99 площу приміщень визначають із розрахунку, що на одне робоче місце вона має становити не менше ніж 6 м^2 , а об'єм не менше ніж 20 м^3 з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні. Приміщення являє собою кімнату розміром $7 \times 5 \text{ м}$, висотою 4 м . Розмір дверного прорізу $1,5 \text{ м}$.

Площа й об'єм приміщення знаходимо по формулах:

$$S = ab,$$

$$V = Sh,$$

де a — довжина, b — ширина, h — висота приміщення.

Маємо:

$$S = 7 \cdot 5 = 35 \text{ м}^2, V = 35 \cdot 4 = 140 \text{ м}^3.$$

Зведемо нормативні та фактичні дані приміщення в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 — Параметри приміщення

Назва характеристики	Норматив	Фактичн
Площа приміщення з розрахунку	$>6 \text{ м}^2$	35 м^2
Об'єм приміщення з розрахунку	$>20 \text{ м}^3$	140 м^3
Висота приміщення	3,5 — 4 м	4 м
Розміри дверей	$\geq 1,1 \times 1,8 \text{ м}$	$1,5 \times 2 \text{ м}$
Відстань від стіни зі світловими прорізами до ВДТ	$\geq 1 \text{ м}$	1,5 м

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що гВДТ ПЕОМетричні розміри приміщення цілком відповідають нормативним вимогам.

Оздоблюють стіни, стелю, підлогу приміщення з матеріалів, які дозволені органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду. Заборонено застосовувати полімерні матеріали (деревостружкові плити, шпалери, що можна мити, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик, тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. За розміщенням робочих місць з ВДТ, ВДТ ПЕОМ потрібно витримувати такі відстані: від стін зі світловими прорізами не менше 1 м; між бічними поверхнями ВДТ не менше 1,2 м; між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менше 2,5 м; прохід між рядами робочих місць не менше 1 м. Робочі місця з ВДТ щодо світлових прорізів розміщують так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Екран ВДТ і клавіатура мають розміщуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків і символів. Розміщення екрана ВДТ має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ від лінії зору працівника.

Усі вище перераховані вимоги відповідають робочому приміщенню, де проводяться дослідження.

4.7.4 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам

Для нормалізації мікроклімату, згідно з ДСН 3.3.6.042—99. «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях», приміщення з ЗОТ обладнане системою опалення, а також системою кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається, у відповідності до СНиП 2.04.05—91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Для захисту від перегрівання в теплий період року та радіаційного охолодження — в зимовий, приміщення обладнане жалюзі і екранами.

На робочому місці роботи виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. Таким чином їх можна віднести до категорії Іа, що охоплює види діяльності з витратами енергії до 120 ккал/год.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042—99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» та ГОСТ 12.005—88. «ССБТ. Общие санитарно—гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» параметри мікроклімату, що нормуються: температура (t, C) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, м/с$).

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в табл.5.2.

Таблиця 5.2 — Параметри мікроклімату.

Період Року	Оптимальні			Допустимі		
	t, C	$W, \%$	$V, м/с$	t, C	$W, \%$	$V, м/с$
Теплий	23–25	40–60	0,1	22–28	55	0,2–0,1
Холодний	22–24	40–60	0,1	21–25	75	$\leq 0,1$

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042—99.

4.7.5 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відео-дисплейних терміналів персональних електронно-обчислювальних машин.

Приміщення з ВДТ ПЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В 2.5—28—2006. Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Розрахунки коефіцієнта природної освітленості проводяться відповідно до ДБН В.2.5—28— 2006. Приміщення з ВДТ, ВДТ ПЕОМ мають бути оснащені природним і штучним освітленням відповідно до ДБН В.2.5—28— 2006. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, які орієнтовані переважно на північ чи північний схід і обладнані регулювальними пристроями відкривання та жалюзями, завісками, зовнішніми козирками.

Приміщення має бічне природне та штучне освітлення, центральне водяне опалення. У приміщенні три вікна розміром 2х2,2 м. Штучне освітлення забезпечує чотири люмінесцентних світильники з лампами ЛБ — 40, розміщених у ряд.

Отже, усі вимоги до освітлення робочого місця відповідають параметрам освітлення приміщення, де проводяться дослідження.

4.7.6 Виробничий шум

Для умов, що розглядаються в проекті характеру роботи, який можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037— 99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» та ГОСТ

12.1.003—83. «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих									Допустимий рівень звуку (дБ)
	1,5	3	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Інженер лабораторії	6	1	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціонування повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел:

—рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами персонального комп'ютера дорівнює 35 дБ;

—рівень шуму системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 30 дБ.

Оскільки одержаний рівень (36.2 дБ) звуку не перевищує допустимих норм, умови робочого приміщення повністю відповідають існуючим санітарним вимогам.

4.8 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС. Основними складовими частинами ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення

надзвичайних ситуацій, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

4.8.1 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про НС;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установки, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні:

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС ;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС, надати їм допомогу у локалізації і ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

4.8.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003–2009.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усій виробничій приміщенні будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;

- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;

- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;

- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";

- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;

- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а й у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1–7–2002 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС /пожежу/ здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів — обладнуються всі виробничі приміщення.

СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС (пожежу), не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС (пожежу).

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5–56–2014.

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС та (або) аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Вимоги до світлових покажчиків "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5–28–2006.

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Вихід з ладу одного з оповіщувачів не повинен призводити до виведення з ладу ланки оповіщувачів, до якої вони під'єднанні.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами устроювання електроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного — від мережі змінного струму, резервного — від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003.

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

4.8.3 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.03.002–2007 робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до ПУЕ (ДНАОП 0.00–1.32–01) клас робочих зон приміщення лабораторії по пожежонебезпеці — П–Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.
2. Строге дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
3. Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Приміщення обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДТЛ (площа, що знаходиться під захистом одного датчика, становить 15 м²), відстань між датчиками рівна 4 м, що відповідає нормам ДБНВ 2.5–56–2014. Відповідно до ГОСТ 12.4.009–75 й ISO 3941–77 для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Е” — наявність

електрообладнання під напругою) використовуються два вогнегасники вуглекислотно–брометиленові ОУБ–3. Вибір вогнегасної речовини ґрунтується на тому, що у вогні можуть опинитись електричні пристрої, що знаходяться під напругою.

Кількість, розміщення й вміст первинних засобів гасіння пожеж цілком задовольняють всім вимогам ДСТУ 3675–98 й ISO 3941–77. Крім того, у коридорі є 2 пожежних крана і ящик з піском. Дотримано усіх заходів безпеки відповідно до ГОСТ 12.3.019–80 і НАПБ А.01.001–2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виконуються усі вимоги ДБН В.1.1–7–2003 та СНиП 2.09.02–85 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 — Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

ВИСНОВКИ

1. Відео, закодоване стандартом HEVC, забезпечує кращу якість передачі в LTE мережі, ніж ті самі відео, закодовані стандартом H.264/AVC.
2. Пропускна здатність, необхідна для передачі відеозаписів, закодованих з H.265 стандартом відео вимагає порівняно менше ресурсів пропускної здатності, ніж відео, що відповідає стандарту відео H.264/AVC.
3. При гіршій якості LTE або коли кількість користувачів велика (смуга пропускання обмежена), кодування відео з нижчим бітрейтом може забезпечити кращу якість відео, ніж відео, кодоване з більш високим бітрейтом.
4. Запропонований алгоритм пропускання кадрів забезпечує кращу якість відео, ніж традиційна передача при поганих умовах каналу. Механізм обмежений смугою пропускання, але коли кількість користувачів невелика і пропускна спроможність необмежена, алгоритм пропускання кадрів виконується. Проте цей недолік може бути покращено, якщо критерії для пропускання кадрів оптимізовані для включення таких параметрів, як наявна пропускна здатність, максимальна дозволена затримка (до втрати пакетів) та довжина черги кадрів для певного потоку відео. Крім того, виявилось, що механізм пропускання кадрів був кращим при оцінці на основі коефіцієнту втрат і спектральної ефективності LTE-мережі, це вказує на те, що механізм пропускання кадрів може не тільки забезпечити кращу якість відео для користувачів, які мають хорошу якість каналу, але також звільнити смугу пропускання для використання іншим користувачам.
5. Розроблений програмний код для трансляції відео дуже гнучкий в налаштуваннях. Працездатність ПЗ перевірена роками роботи одного з телеканалів нашої країни. Недоліком є потреба в значних потужностях комп'ютерних систем.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Cisco / Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update / Cisco // Лютий, 2015
2. Vivienne S. High Efficiency Video Coding (HEVC) / Vivienne Sze, Madhukar Budagavi, Gary J. Sullivan // Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 1972.
3. Дворкович В.П. Цифровая обработка сигналов / Дворкович В.П., Дворкович А.В., Грызлов Г.Ю. // журнал — Москва: № 3–2013
4. Nahyun L. Scalable Extension of HEVC for Flexible High-Quality Digital Video Content Services / Nahyun Lee, Jung Won Kang, Jinho Lee, Jin Soo Choi, Jinwoong Kim, and Donggyu Sim // журнал — США: 2013
5. Talukdar Streaming video capacities of LTE airinterface / Talukdar, Anup, Mark Cudak, and Amitava Ghosh // Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference M., 2010
6. Dahlman Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband / Dahlman, E. Parkvall, S. Sköld, I. J. & Beming, // 3rd ed, Oxford, Academic Press, — М., 2007 — 327 с.
7. [Электронный ресурс] Command Line Tools Documentation / Режим доступа: www.ffmpeg.org // IEEE International Conference, 2018.
8. [Электронный ресурс] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update // 2015 – Режим доступа: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>
9. [Электронный ресурс] ITU-T High Efficiency Video Coding – Recommendation ITU-T H.265 / ITU-T 2013 – Режим доступа: <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=12905>
10. Rugej M. / Novel Cross-Layer QoE-Aware Radio Resource Allocation Algorithms in Multiuser OFDMA Systems / IEEE Transactions on Communications // 2014

ДОДАТОК А

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

(розшифровка підпису)

(дата)

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ**

Передача відео потоку стисненого кодеком H.265/HEVC через 4G
стільникові мережі

Аврамук М. А.

РІ-71МП, 2018

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Підставою для виконання роботи є завдання на магістерську дисертацію.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для передачі відео H.265 по LTE стандарту.

2.1 Об'єкт та предмет дослідження

Об'єкт дослідження: процес передачі відеопотоку.

Предмет дослідження: характеристики і параметри процесу передачі відео.

2.2 Задачі, які потребують вирішення

1. Розробка комп'ютерної моделі передачі даних в 4G мережі за допомогою комп'ютерного моделювання.
2. Розробка моделі трафіку HEVC.
3. Розробка алгоритму зворотнього зв'язку.
4. Розробка програмного коду для організації відеопередачі через мережу інтернет.

3 ВИХІДНІ ДАННІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Remy J. LTE Services / Jean-Gabriel Remy, Charlotte Letamendia // Wiley-ISTE — London, Great Britain: Wiley-ISTE, 2014
2. Mathias W. / High Efficiency Video Coding / Wien Mathias // ISBN – Germany, 2015

4 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Виконати аналітичний огляд стандартів кодування відеозображень.
2. Дослідити алгоритм HEVC.
3. Провести комп'ютерне моделювання передачі даних LTE.

4. Написати програмний код для трансляції відеосигналу.
5. Проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

5 ЕТАПИ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ТЕРМІН ВИКОНАННЯ

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації
1	Підбір джерел за темою дисертації	10.2017
2	Аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації	12.2017
3	Розробка ТЗ	06.2018
4	Дослідження алгоритму роботи стандарту кодування відео потоку для подільшої передачі	09.2018
5	Програмна реалізація передачі відео потоку до користувача.	10.2018
6	Комп'ютерне моделювання мережі LTE	11.2018
7	Оформлення магістерської дисертації	12.2018
8	Підготовка до захисту та отримання допуску до захисту та подача роботи в ЕК	12.2018

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Модель передачі відеосигналу HEVC в мережі LTE.
2. Порівняння вимог пропускної здатності каналу LTE.
3. Програмна реалізація передачі відео потоку до користувача.
4. Висновки за результатами виконаної роботи.

6 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Завдання на магістерську дисертацію.
2. Технічне завдання.
3. Пояснювальна записка.
4. Електронна презентація.

7 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ЇЇ ЕТАПІВ

1. Поетапне узгодження з керівником.
2. Представлення кафедри.
3. Попередній захист.
4. Захист перед екзаменаційною комісією.

8 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАЛЬНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

1. ДСТУ 3008–2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання.
2. ДСТУ 3973–2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково–дослідних робіт. Загальні положення.

9 ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Аналітичний огляд інформаційних джерел за темою дисертації.
2. Порівняння вимог пропускнуої здатності каналу LTE.
3. Написання програми передачі відео потоку до користувача.
4. Висновки за результатами виконаної роботи.

Виконавець

_____ (підпис)

_____ (розшифровка підпису)

Науковий керівник

_____ (підпис)

_____ (розшифровка підпису)

ДОДАТОК Б ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. АЛГОРИТМ СТИСНЕННЯ ВІДЕО КОДЕКОМ H.265 / HEVC

Автор Аврамук Микола Андрійович

(науковий керівник — д.т.н., доц. Уваров Б.М.)

H.265 або HEVC (англ. High Efficiency Video Coding – високоефективне кодування відеозображень) – стандарт стиснення відео, розроблений об'єднаною командою експертів відеокодування JCT–VC, в яку входять колективи ITU–T Video Coding Experts Group (VCEG) і ISO / IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) в 2013 році. Мета розробників стандарту H.265 / HEVC це підвищення ефективності алгоритмів стиснення в порівнянні з існуючими стандартами. Ключовою вимогою, що пред'являються до нового стандарту, стало забезпечення дворазового збільшення ступеня стиснення в порівнянні з поточним найпоширенішим стандартом H.264 / AVC при фіксованій якості. На сьогоднішній день досягнуто результату стиснення 50%. H.265 / HEVC використовує гібридний підхід кодування відео. Тобто для стиснення використовуються внутрішньокадрове (intra) і міжкадрове (inter) кодування потокового відео.

Основні особливості стандарту H.265 / HEVC:

– блоки кодування, CTU. Як було сказано раніше, при кодуванні зображення розбивається на квадратні області. Найбільшою одиницею такого розбиття є CTU. В межах одного кодованого потоку розмір CTU є фіксованим. H.265 / HEVC підтримує наступні розміри CTU: 16×16 , 32×32 і 64×64 пікселів.

– Можливості розпаралелювання процесів кодування і декодування. Одним з нових понять є поняття тайла (tile). Тайли це прямокутні області на які розбивається кадр. Вони можуть кодуватися і декодуватися незалежно один від одного. Ще одним способом розпаралелювання кодека, передбаченим стандартом, є використання WPP (Wavefront Parallel Processing). В цьому випадку обробка кадру здійснюється декількома потоками, кожен з яких працює над певним рядком.

– Внутрішньокадрове передбачення (intra prediction). Для передбачення значень пікселів використовуються відновлені значення граничних пікселів сусідніх блоків. У H.265 / HEVC підтримується 35 режимів просторового передбачення: 33 кутових режими, режим Planar і режим DC. Внутрішньокадровий режим поточного блоку PU (від англ. Prediction Unit – Блок передбачення) може бути успадкований від сусідніх PU. При цьому у вихідний потік зберігається тільки індекс PU, від якого виробляється наслідування, в однозначно встановленому списку кандидатів. Цей список кандидатів в тексті стандарту носить назву MPM (від англ. Most Probable Modes – найбільш ймовірні режими).

– Визначення вектора руху MV. У H.265 / HEVC використовується ефективно передбачення вектора руху (англ. Advanced Motion Vector Prediction, AMVP), що включає в себе визначення найбільш ймовірних кандидатів на підставі даних із сусідніх блоків PU і опорних кадрів. Передбачення значень пікселів, засновані тільки на передбачених AMVP векторах, називається «злиттям» (англ. Merge). Якщо при цьому немає необхідності кодувати залишки, в потік записується сигналізуючий про це прапорець. Такий режим кодування дозволяє досягти найбільшою мірою стиснення блоку CU (від англ. Coding Unit – Блок кодування) і носить характерну назву – режим Skip (від англ. – пропустити).

– Ентропійне кодування. У HEVC використовується контекстно-адаптивний двійковий арифметичний кодер (англ. Context-Adaptive Binary Arithmetic Coder, CABAC). Здебільшого він аналогічний арифметичному кодеру CABAC, що застосовується в AVC. На відміну від CABAC він має більше число контекстів. Крім того, для збільшення ефективності ентропійного кодування коефіцієнтів перетворення використовується адаптивний обхід коефіцієнтів, який явно визначає порядок сканування кожного блоку перетворення.

Після аналізу алгоритму кодування HEVC можна зробити висновки:

1. Обробка зображення при кодуванні здійснюється по блоках. Кожен блок при кодуванні може бути оброблений по одному з безлічі варіантів алгоритмів кодування. Критерій вибору найкращого варіанту в стандарті не визначено, а залишений на розсуд розробників конкретних систем кодування.

2. HEVC виграє в порівнянні з ранніми стандартами за рахунок застосування блоків кодування великих розмірів (до 64x64). Але, одним з найбільш трудомістких завдань нового стандарту, з обчислювальної точки зору, є етап вибору режиму передбачення (більше 80% обсягу обчислень). Для кадрів, кодованих в режимі просторового передбачення, це вибір одного з 33 кутових режимів або режимів Planar і DC; а для міжкадрового передбачення виконується пошук оптимального розбиття CU на один з восьми доступних режимів PU.

Таким чином, істотне підвищення ступеня стиснення відеоданих в рамках стандарту H.265 / HEVC досягається за рахунок розширення можливостей методів і алгоритмів кодування відеоданих. Таке розширення теж є причиною підвищення обчислювальної складності процесу кодування. У подальшому дослідженні, необхідно розробити швидкі методи і алгоритми кодування відеоданих в рамках удосконалення нового стандарту H.265 / HEVC.

Перелік посилань

1. GJ Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, and T. Wiegand. Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard // IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 2012. — С. 1648—1667.
2. Mateus Grellert and etc .. An Adaptive Workload Management Scheme For HEVC Encoding // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems — 2010. — №21. — С. 1850—1854.

Анотація

В цій роботі описано основні особливості стандарту відеостиснення H.265/HEVC.

Зроблено висновки та показані сторони алгоритму в яких він має значну перевагу над іншими стандартами відеостиснення.

Ключові слова: Відео, кодек, відео стиснення, H.265/HEVC.

Abstract

This work describes the main features of the video compression standard H.265 / HEVC. The conclusions are drawn and the sides of the algorithm are shown, in which it has a significant advantage over other standards of video compression.

Keywords: Video, Codec, Video Compression, H.265 / HEVC.

Аврамук М. А., РІСІМД, 2018

ДОДАТОК В

Програмный код

#ffserver

Port 8090

BindAddress 0.0.0.0

udpPort 5554

udpBindAddress 127.0.0.1

MaxClients 100

MaxBandwidth 20000

<Feed feed.ffm>

File feed.ffm

FileMaxSize 3000M

</Feed>

<Stream test.mkv>

udpOption udp_transport tcp

udpOption udp_flags listen

Feed feed.ffm

Format matroska

VideoCodec libx265

VideoFrameRate 800

VideoBufferSize 10000

VideoBitRate 5000

VideoSize 1920x1080

AVOptionVideo libx265:crf 30

AVOptionVideo libx265:preset fast

AVOptionVideo libx265:me_range 16

AVOptionVideo libx265:qdiff 4

AVOptionVideo libx265:qmin 10

AVOptionVideo libx265:qmax 51

AVOptionVideo libx265:flags +global_header

</Stream>

#ffmpeg

ffmpeg -i test.mkv -f mpegts udp://127.0.0.1:10000

#ffplay

ffplay udp://127.0.0.1