

## ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

## МЕТОД ОБСЛУГОВУВАННЯ ГОЛОГРАФІЧНОГО ТРАФІКА В МЕРЕЖІ СПІЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Виконав: студент групи СПм-23-4

Удянський Роман Олександрович

Керівниця кваліфікаційної роботи: доцент

Тетяна Філімончук

2025

2

## ГОЛОГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ



Голографічне зображення, на відміну від фотографічного, містить найповнішу інформацію про об'єкт. Зокрема, і найперше, голографічне зображення тривимірне. Причиною є те, що воно містить інформацію і про амплітуду світлової хвилі, яка йде від предмета, і про її фазу.

Голографічний тип комунікації (ГТК) позначається як технологія, яка в інтерактивному режимі доставлятиме цифрові 3D-зображення з одного або декількох джерел в один або кілька цільових вузлів.

Система ГТК здебільшого складається з трьох частин, а саме: джерела, мереж та пункту призначення.

3

## ГОЛОПОРТАЦІЯ



**Голопортація** — це технологія яка об'єднує голографію та телепортацію. Людина або об'єкт миттєво перетворюється на голограму, а потім пересилається в інше місце для отримання віддаленого спостереження або взаємодії.

**Holoportation** – це новий тип технології 3D-захоплення, яка дозволяє реконструювати, стискати та передавати високоякісні 3D-моделі людей у будь-яку точку світу в режимі реального часу. У поєднанні з дисплеями змішаної реальності, такими як HoloLens, ця технологія дозволяє користувачам бачити, чути та взаємодіяти з віддаленими учасниками у 3D, начебто вони насправді присутні у тому ж фізичному просторі.

4

## ГОЛОГРАФІЧНА ТЕЛЕПРИСУТНІСТЬ



**Голографічна телеприсутність** – це технологія, що розвивається, для повномасштабних тривимірних (3D) відеоконференцій. Системи голографічної телеприсутності можуть проектувати реалістичні повноцінні 3D-зображення віддалених людей та об'єктів, у реальному часі безпосередньо у приміщення, а також здійснювати аудіозв'язок у реальному часі з рівнем реалізму, що змагається з фізичною присутністю.

**Термін «голографічне телеприсутність»** трактується, як психічний стан користувача, у якому він відчуває взаємодію з віртуальними об'єктами і суб'єктами, як із реальними у процесі голографічної комунікації.

5

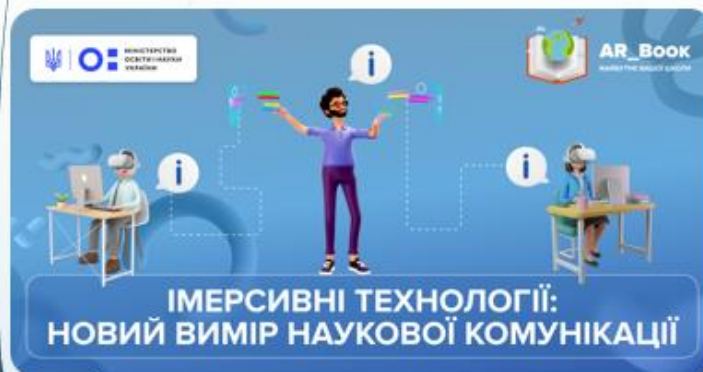
## ГОЛОГРАФІЧНИЙ АВАТАР



Голографічний аватар – це гіперреалістична 3D модель людини, створена за реальним прототипом користувача, з використанням програмних платформ штучного інтелекту, що забезпечують машинне навчання нейронної мережі. На відміну від віртуальних цифрових аватарів, якими керують користувачі, голографічний аватар є повністю автономним, автоматизованим, який контактує з користувачем завдяки нейронній мережі

6

## ІМЕРСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ



Імерсивні технології — технології повного або часткового занурення у віртуальний світ або різні види змішання реальної і віртуальної реальності, доповненої реальності, а також 360°-відео. Вони забезпечують ефект повної або часткової присутності в альтернативному просторі.

Під імерсивними технологіями в телекомунікаціях, розуміємо технології, що вносять у дистанційне спілкування людей застосункові види інформації, що дозволяють створювати ефект повної присутності людини у віддаленому від нього на велику відстань середовищі за рахунок створення тривимірних моделей людей та простору, а також впливу на всі органи почуттів людей.

7

## ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ ГОЛОГРАФІЧНОГО ТРАФІКА

Голографічний трафік передає цифровий потік даних, пов'язаний з передачею голограм у реальному часі. Оскільки голограми — це високоточні 3D-зображення, які потребують складної обробки й передачі великої кількості даних, трафік має специфічні особливості:

1. **Висока пропускна здатність:** необхідно передавати десятки або сотні мегабіт за секунду (в порівнянні з відео — це на порядок більше).
2. **Низька затримка (latency):** для забезпечення реального часу затримка має бути <20 мс, більша затримка спричиняє ефект "запізнення" аватара, втрату синхронності рухів і голосу.
3. **Нестабільність у навантаженні (burstiness):** об'єм переданих даних змінюється залежно від того, наскільки активна сцена (жести, міміка), бувають пікові навантаження, які важко передбачити.
4. **Вимоги до QoS** (якість обслуговування): втрата навіть невеликої частини кадру сильно впливає на якість голограм.
5. **Висока залежність від обчислювальних ресурсів:** дані не лише передаються, а й активно обробляються в реальному часі (реконструкція 3D, рендеринг, стиснення та декомпресія).

8

## МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОБОТИ

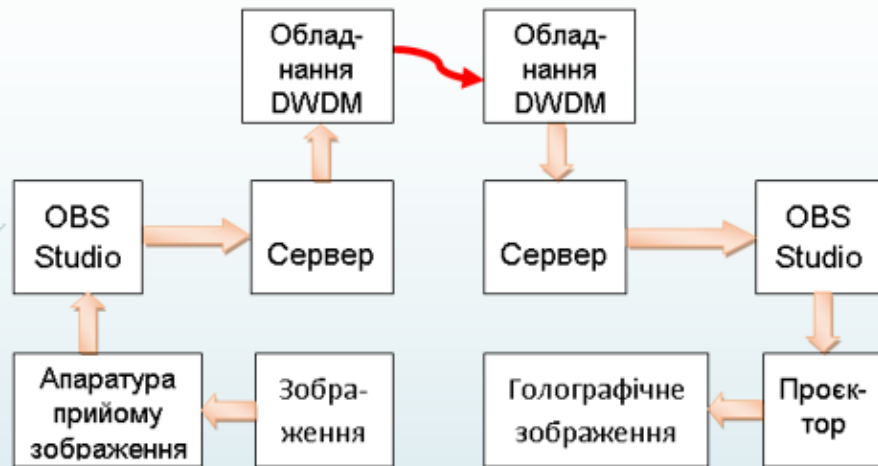
**Мета дослідження** - підвищення якості передачі голографічної інформації за рахунок удосконалення методу обслуговування трафіку голографічного типу комунікацій у мережах п'ятого та наступних поколінь при спільному використанні каналів зв'язку.

### Основні задачі дослідження:

- 1) провести дослідження характерних особливостей поведінки голографічного трафіка;
- 2) провести дослідження процесів обслуговування різних варіантів формування трафіку 3D;
- 3) розробити та дослідити модель та метод процесу обслуговування голографічного трафіку в мережах спільного користування.

9

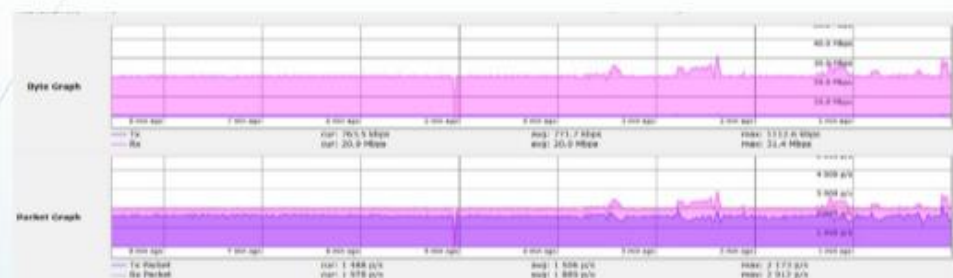
## МОДЕЛЬ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОПОТОКУ



Технологія щільного мультиплексування з поділом довжин хвиль (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) дає можливість вирішити проблему підвищення пропускної здатності мережі і ущільнення трафіку, мультиплексуючи кілька інформаційних каналів по одному оптичному волокну.

10

## ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТОВОЛОКОННОГО КАБЕЛЮ



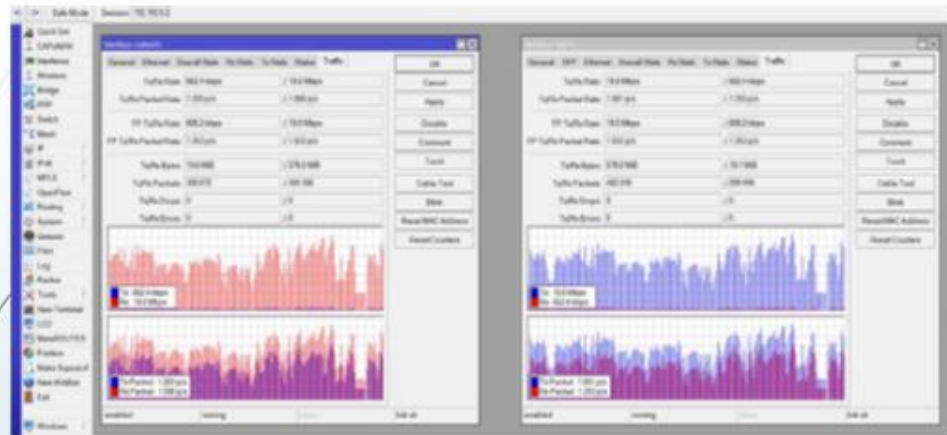
Графік моніторингу при передачі одного рухомого об'єкта на зелений фон



Графіки моніторингу при передачі двох рухомих об'єктів на зелений фон

11

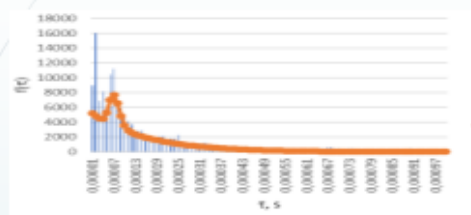
## ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАФІКУ З ВИКОРИСТАННЯМ WI-FI



При використанні бездротового середовища передачі даних (Wi-Fi) між комутаторами можливе погіршення якості відтворення голографічного контенту. Тому для впровадження даної технології в масове користування необхідно вирішувати завдання підвищення стійкості мережі до пікових навантажень і впливу зовнішнього середовища

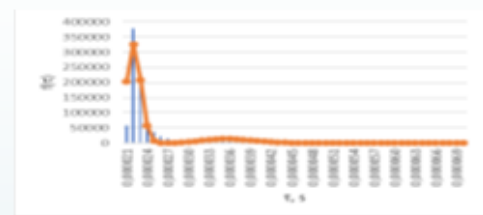
12

## РОЗПОДІЛ ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ МІЖ ПАКЕТАМИ ТА ФУНКЦІЯ ЩІЛЬНОСТІ ЙМОВІРНОСТІ



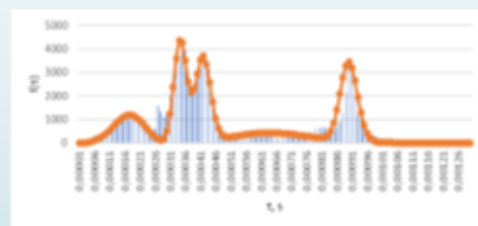
Голографічний трафік

$$f(t) = \eta_1 f_1(t_1) + \eta_2 f_2(t_2)$$



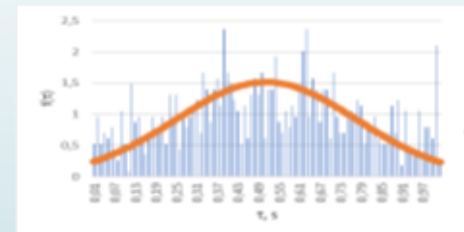
Трафік мультимедіа

$$f(t) = \eta_1 f_1(t_1) + \eta_2 f_2(t_2) + \eta_3 f_3(t_3) + \eta_4 f_4(t_4)$$



Трафік Інтернету речей

$$f(t) = \sum_{i=1}^6 \eta_i f_i(t_i)$$



Службовий трафік

$$f(t) = N(\mu, \sigma)$$

13

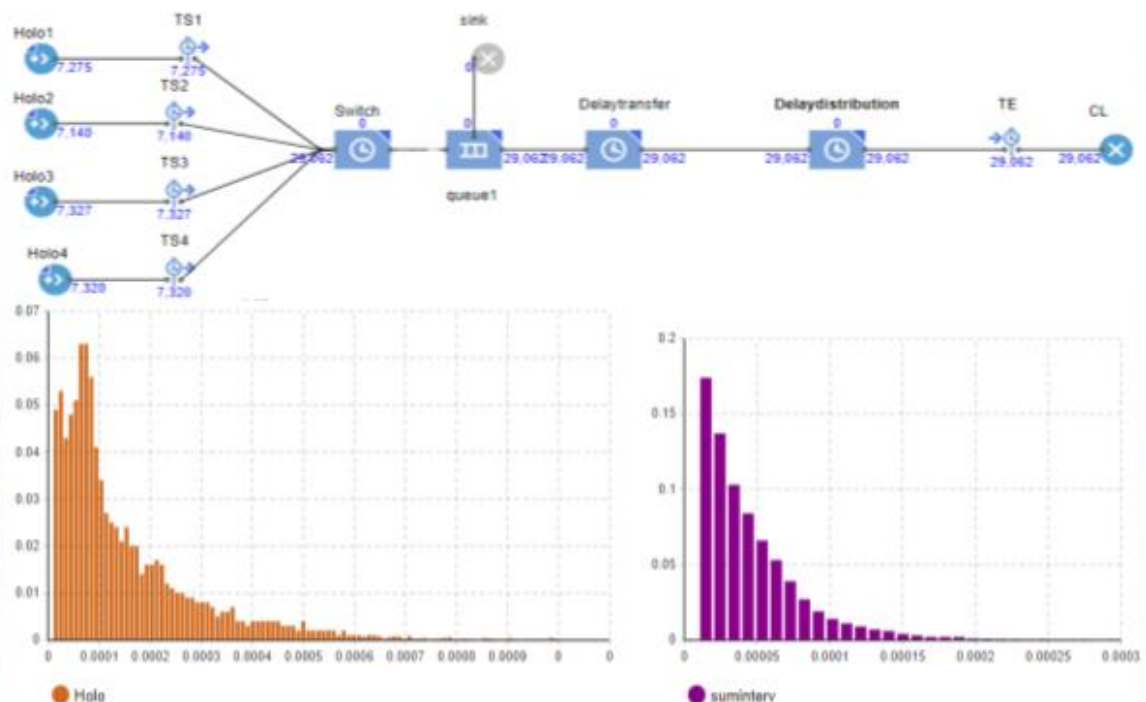
## МЕТОД ОБСЛУГОВУВАННЯ ГОЛОГРАФІЧНОГО ТРАФІКА

**Мета:** забезпечити стабільну, низькозатримкову і якісну доставку голографічного контенту в умовах спільної інфраструктури.

1. Ідентифікація трафіка – виявлення голографічного потоку в мережі.
  2. Класифікація та маркування – встановлення QoS-пріоритетів.
  - \* 3. QoS-орієнтована маршрутизація – вибір оптимального маршруту.
  4. Буферизація та згладжування потоку – управління затримками та джитером.
  - \* 5. Резервування ресурсів – виділення смуги пропускання та потужностей.
  6. Адаптивна передача – регулювання якості в реальному часі.
  7. Моніторинг і зворотний зв'язок – контроль продуктивності каналу.
  8. Обробка на периферії (Edge computing) – попередня обробка, кешування, рендеринг.
- \* - короткострокове прогнозування супутніх інформаційних потоків (удосконалення методу)

14

## МОДЕЛЬ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ANYLOGIC



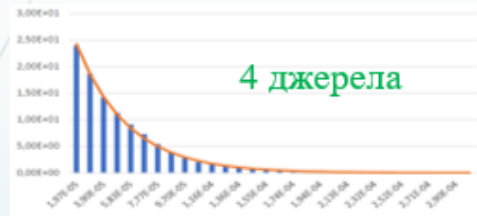
15

# ДОСЛІДЖЕННЯ АГРЕГОВАНОГО ТРАФІКУ

Розподіл часових інтервалів:

довільний

експоненційний



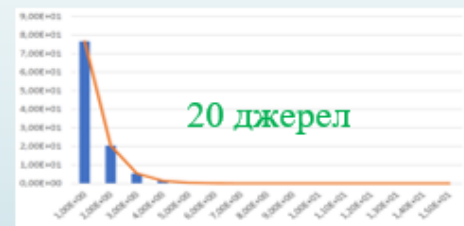
$$\chi^2_{\text{випірічне}} = 112,5 > 39,1 = \chi^2_{\text{критичне}}$$



$$\chi^2_{\text{випірічне}} = 23,6 < 39,1 = \chi^2_{\text{критичне}}$$



$$\chi^2_{\text{випірічне}} = 39,3 > 39,1 = \chi^2_{\text{критичне}}$$



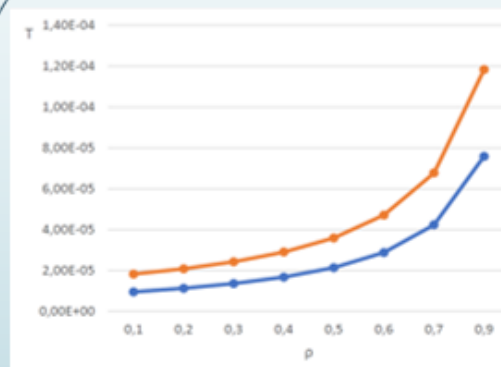
$$\chi^2_{\text{випірічне}} = 5,2 < 39,1 = \chi^2_{\text{критичне}}$$

Голографічний трафік при великій кількості користувачів має властивість найпростішого потоку

16

# ПОРІВНЯННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ

Тип трафіку	Середня затримка даних			
	Граничний сервер	Мікро- сервер	Міні сервер	Головний сервер
Службовий	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$2,44 \cdot 10^{-5}$	$3,78 \cdot 10^{-5}$	$2,30 \cdot 10^{-4}$
Мультимедіа	$3,64 \cdot 10^{-4}$	$3,57 \cdot 10^{-4}$	$3,83 \cdot 10^{-4}$	$5,77 \cdot 10^{-4}$
Інтернет речей	$8,58 \cdot 10^{-5}$	$8,70 \cdot 10^{-5}$	$1,06 \cdot 10^{-4}$	$3,03 \cdot 10^{-4}$
Голографічний	$6,38 \cdot 10^{-5}$	$6,58 \cdot 10^{-5}$	$8,47 \cdot 10^{-5}$	$2,83 \cdot 10^{-4}$
Змішаний	$7,33 \cdot 10^{-5}$	$7,49 \cdot 10^{-5}$	$9,37 \cdot 10^{-5}$	$2,93 \cdot 10^{-4}$



$$W = W_{\text{average}} + \text{Delaytransfer} + \text{Delaydistribution.}$$

— Класичний метод

— Удосконалений метод

$$W_{\text{average}} = \frac{\rho \cdot t_{\text{average}}}{2 \cdot (1 - \rho)} \cdot \left( 1 + \frac{t_{\text{average}}}{\sigma_t} \right)^2$$

## ВИСНОВКИ

17

Сукупність отриманих у кваліфікаційній роботі результатів дозволило вирішити актуальне науково-технічне завдання, спрямоване на підвищення якості передачі голографічної інформації.

В результаті проведених досліджень отримані такі результати:

1. Проведений аналіз голографічних послуг та голографічного типу комунікацій, а також напрямів розвитку мереж зв'язку п'ятого та наступних поколінь для надання даних послуг.

2. Проведені дослідження характерних особливостей поведінки голографічного трафіка.

3. Проведені дослідження процесів обслуговування різних варіантів формування трафіку 3D. Зокрема, досліджені особливості трафіку мультимедіа і голографічних послуг, а також послуг Інтернету речей, розроблені моделі трафіку.

4. Розроблені та досліджені модель та метод процесу обслуговування голографічного трафіку в мережах спільного користування. Удосконалений метод обслуговування трафіку голографічного типу комунікацій у мережах п'ятого та наступних поколінь при спільному використанні каналів зв'язку за рахунок визначення розподілів складових агрегованого трафіку, який має однією із складових голографічну інформацію, що сприяло підвищенню якості її передачі.

18

## ПУБЛІКАЦІЯ У ФАХОВОМУ ЖУРНАЛІ КАТЕГОРІЇ «Б»

Kuchuk N., Udyansky R., Usichenko V., Vaslov P., Huk A. Traffic providing holographic type of communications. *Системи управління, комунікації та зв'язку*. Полтава : Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2025, Вип. 1(79). С. 188-193.

