



DOI [10.28925/2663-4023.2021.14.6886](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.14.6886)

УДК 004.052

Биць Андрій Віталійович

магістрант кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка
Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-8622-2370
andreybits99@outlook.com

Соколов Володимир Юрійович

к.т.н., доцент,
доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка
Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-9349-7946
v.sokolov@kubg.edu.ua

Мазур Наталія Петрівна

к.п.н., доцент,
доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка
Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0001-7671-8287
n.mazur@kubg.edu.ua

Козачок Валерій Анатолійович

к.т.н., доцент,
доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка
Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0003-0072-2567
v.kozachok@kubg.edu.ua

Бессалов Анатолій Володимирович

д.т.н., професор,
професор кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка
Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-6967-5001
a.bessalov@kubg.edu.ua

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТЕЛЕКОНФЕРЕНЦІЇ НА МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

Анотація. В статті розглянута проблема забезпечення доступності та цілісності безпроводових абонентів у стільникових та інших безпроводових корпоративних мережах. Метою статті є визначення порогових значень для моменту зриву передавання відеосигналу, кількісні параметри, артефакти і кількість помилок для зображення. Показати залежність цілісності даних, переданих в режимі реального часу, від характеристик середовища. Для оцінки якості відеоінформації були застосовані два підходи: якісний (оцінка розпізнавання зображення) і кількісний (вимірювання кількості помилок). Оскільки програма для проведення дослідження була написана на мові програмування Kotlin, то була потрібна бібліотека написана на Java або Kotlin. Після проведення пошуку бібліотеки виявилось, що бібліотек які задовольняють таким параметрам як: надійність, актуальність та наявність документації, лише три: Jaffree, Xuggler і VLCJ. Після збору інформації було встановлено, що найпоширенішими розширеннями екрану для настільних комп'ютерів є 1366×768 і для телефонів — 360×640. Виявилася помилка, що протокол RTP не підтримував більше одного підключення. Також протокол RTSP не зміг пройти дослід на інших кодеках крім MP4V, дослід припинявся раніше ніж потрібно без помилки, судячи по показникам причиною цього була дуже велика загрузка процесора. Всі інші протоколи успішно пройшли дослід і були отримані результати. Під час проведення дослідів, ми зіткнулися з різними аномаліями відео.



сама найгірша була, проблема з відтворення відео у кодека MJPG. Також були виявлені інші аномалії: затримка кадрів, некоректне відмальовування кадрів, білий шум і білий шум в перемішку з кадрами. Добре видно як до 128 кбіт/с досліди проходять успішно, а потім починаються припинення відеопотоку без інформації про помилку. За результатами дослідів найкраще себе проявляє кодек H.264.

Ключові слова: цілісність, доступність, телеконференція, VoIP, якість відеосигналу, якість обслуговування, QoS.

ВСТУП

У сфері обробки сигналів і телекомунікацій вимірювання якості мовлення має досить довгу історію. Зовсім недавно оцінка якості була поширена також на аудіо та відеоінформацію [1]. Потреба галузі в точних і надійних об'єктивних показниках відео стає все більш актуальною з новими програмами та послугами цифрового відео, такими як мобільне мовлення, інтернет-відео та IPTV. Вимірювання якості має широкий спектр застосувань, включаючи тестування обладнання (наприклад, оцінка кодеків), завдання планування передачі та визначення розмірів мережі, забезпечення якості головного вузла, моніторинг мережі в процесі експлуатації та вимірювання якості на основі клієнта. Стандарти вирішують все більшу кількість проблем, пов'язаних із вимірюванням якості відео. До них належать визначення та завдання, вимоги, рекомендовані методи, плани тестування та багато іншого [2].

В статті розглянута **проблема забезпечення доступності та цілісності** безпроводових абонентів у стільникових та інших безпроводових корпоративних мережах.

В попередніх дослідженнях автори розглядали пропускну здатність малопотужних безпроводових IoT-комутаторів [3], підходи щодо розробки аналізаторів спектру для сенсорних безпроводових мереж [4], стійкості роботи однорангових безпроводових мереж із самоорганізацією [5] і захисту від спуфінгу ідентифікаторів безпроводових абонентів [6].

Метою статті є визначення порогових значень для моменту зриву передавання відеосигналу, кількісні параметри, артефакти і кількість помилок для зображення. Показати залежність цілісності даних, переданих в режимі реального часу, від характеристик середовища.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання мобільних пристроїв є найбільш швидкозростаючим технологічним трендом у промисловості [7]. Доступність мобільних пристроїв, зручність доступу до інформації, коли це необхідно, і, отже, полегшення контекстного навчання, роблять мобільні пристрої привабливим рішенням для освіти. Студенти вже використовують свої мобільні пристрої для навчання [8], а в літературі повідомляється про декілька ініціатив Bring Your Own Device в освітніх цілях [9]. Проте неоднорідність мобільних пристроїв «ставити нетривіальні проблеми для мультимедійних послуг інтернету» [10]. Незважаючи на відомі проблеми та обмежені знання про те, як розробити мобільне навчання [11], існуючі дослідження також повідомляють про позитивні результати при використанні мобільних пристроїв для полегшення навчання [12]. У той же час навчання на основі відео набуває все більшої популярності [13]. Навчання на основі відео



вважається найефективнішим способом доставки освітнього контенту на мобільні пристрої [14]. Відео вважається «випадковим і розмовним», «основною формою спілкування» між багатьма молодими людьми. У контексті мобільних відеододатків якість відео вважається «критичним фактором» для їх прийняття [15], оскільки як викладачі, так і учні втрачають інтерес, коли показують відео низької якості [16]. Тому це також важливий фактор, який слід враховувати для навчання на основі мобільного відео. Також мало знань про те, як створити ефективні мобільні навчальні курси загалом і зокрема для мобільного відеонавчання [17]. Тому необхідні додаткові дослідження щодо того, як розробити мобільні навчальні курси, особливо ті, що використовують відео, і ці дослідження спрямовані на усунення цього пробілу. Крім того, необхідно краще зрозуміти, як якість відеоконтенту (у цьому контексті розуміється як якість кодування) впливає на навчання та якість сприйняття. Потрібно зосереджуватись на відео, а не на іншому вмісті (наприклад, аудіо), оскільки він, швидше за все, буде адаптований, коли він доставляється через інтернет. Адаптація відео забезпечується або постачальниками контенту (наприклад, Netflix дозволяє своїм користувачам вибирати нижчу якість відео, щоб зменшити споживання даних [18]), або вона може бути нав'язана провайдером мережі [19]. У більшості випадків користувачі не мають контролю над процесом адаптації, оскільки це відбувається у фоновому режимі. Відеоадаптація, ймовірно, вплине також на мобільних учнів, оскільки мобільні мережі мають обмежену пропускну здатність, а тарифні плани мобільних даних обмежені [20] через збільшення відеотрафіку [21].

Звички навчання змінюються: YouTube став однією з провідних пошукових систем [22], а студенти використовують відео як першу точку відліку, коли шукають інформацію, пов'язану з темою [23]. В освіті відеонавчання можна використовувати для просування рефлексивного дослідження, для формування наукових концепцій або як економічно ефективний засіб полегшення доступу до освіти для якомога більшої кількості студентів. Крім того, згідно з когнітивною теорією мультимедійного навчання, подання вмісту як аудіо, так і візуально може призвести до кращого навчання, підвищуючи здатність запам'ятовувати та передавати інформацію. Відео використовується в мобільних системах навчання для різних цілей, таких як: надання доступу до освіти великій кількості студентів [24], покращення інтерактивності [25], компенсація невеликого розміру мобільних пристроїв [26], досліджувати різні рішення для мобільного навчання освітнього контенту [27] або досліджувати рішення для створення навчального контенту, який буде придатним для будь-якого пристрою, незалежно від того, мобільний пристрій чи настільний комп'ютер [28]. Існуючі дослідження розглядали найефективніші медіа для навчання на основі відео [11, 14]. Наприклад, Макдональд і Чіу [14] досліджували життєздатність використання мобільного навчання для тих, хто навчається на робочому місці. Вони провели пілотне дослідження, яке містило різні медіа: текст, відео та аудіо. Контент зберігався на мобільному телефоні, а частина транслювалася. Результати дослідження показали, що відео було найефективнішим способом доставки контенту для мобільних пристроїв. На протилежному боці були текстові файли, які виявилися громіздкими у використанні, а студенти повідомляли про напругу очей під час читання. Ці результати подібні до [29], але також виявляється, що це залежить від місця розташування; що мобільні студенти віддадуть перевагу презентаціям Power Point та електронним книгам в офісі, тоді як відеоролики віддадуть перевагу, коли студенти навчаються вдома або під час навчання в кафе. Однак жодне з вищенаведених досліджень не розглядало, який тип освітнього відеоконтенту може бути більш підходящим для мобільних пристроїв, і саме це

дослідження розглядає. Для оцінки якості відеоінформації гарно зарекомендували себе два підходи:

1. Якісний (оцінка розпізнавання зображення).
2. Кількісний (вимірювання кількості помилок).

Обидва підходи розглянуті в статті в наступних розділах. Для розрахунку середньої кількості помилок була застосована формула:

$$\bar{E} = \frac{1}{(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}})N} \int_{t_{\text{поч}}}^{t_{\text{кін}}} \int_{n=1}^N E(t, n) dt dn, \quad (1)$$

де $t_{\text{поч}}$ — початковий час, с; $t_{\text{кін}}$ — кінцевий час, с; N — кількість помилок.

ВИБІР І РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Після розуміння того, що потрібно робити почався процес пошуку інструменту для реалізації поставленої задачі. Потрібна була бібліотека, яка може відтворювати і транслювати відео з гнучкою настройкою параметрів передачі та прийому відеопотоку. Оскільки програма яка повинна провести дослід буде написана на мові програмування Kotlin, була потрібна бібліотека написана на мові програмування Java або Kotlin, оскільки Kotlin використовує JVM для компіляції свого коду, він повністю сумісний з Java. Після проведення пошуку бібліотеки виявилось, що бібліотек які задовольняють таким параметрам як: надійність, актуальність та наявність документації (див. табл. 1). Таких бібліотек не так вже і багато, лише три варіанти.

Таблиця 1

Критерії вибору бібліотеки

Бібліотека	API	Статистика в реальному часі	Документація	Надійність роботи	Інтеграція зі SWING
Jaffree	FFmpeg	Ні	Ні	Висока	Ні
Xuggler	FFmpeg	Так	Так	Висока	Так
VLCJ	VLC	Так	Так	Середня	Так

Була потрібна бібліотека, яка буде мати можливість збирати статистику про відеопотік в реальному часі, для того щоб здійснити емпіричний метод дослідження. Також потрібна документація, для впевненого використання бібліотеки. Для економії часу на досліді бібліотека повинна бути надійною, та безвідмовною в роботі. І головним критерієм є підтримка бібліотеки SWING для розробки зручного інтерфейсу. Проаналізувавши данні з табл. 1, можна зробити висновок, що найкращим рішенням є VLCJ.

Після остаточного вибору бібліотека був розпочатий процес розробки програми, для більш зручного використання програми, замість консолі була вибрана обгортка SWING API, яка дозволила створити зручний графічний інтерфейс користувача.

Для початку був розроблений інтерфейс користувача (рис. 1), який отримав ось такий остаточний вигляд.

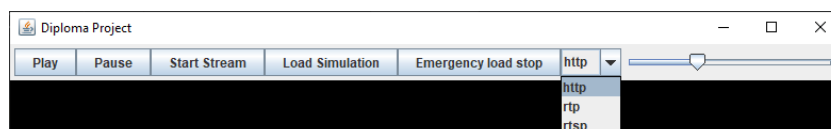
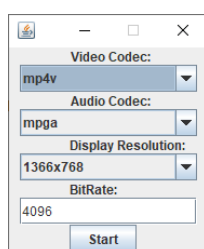


Рис. 1. Приклад інтерфейсу користувача

Інтерфейс складається з наступних елементів:

- Play — відтворює відеопіток в основному вікні;
- Pause — зупиняє відеопотік в основному вікні;
- Start Stream — відкриває вікно з параметрами для запуску відеопотоку (рис. 2);
- Load Simulation — якщо відеопотік транлюється, запуску 10 відеоклієнтів для тестування кодеку;
- Emergency load stop — екстренно зупиняє всі відоклієнти, якщо на те є потреба і виводить статистику;
- Protocol ComboBox — вибір протоколу по якому буде транлюватися відеопотік;
- Volume Slider — регулює рівень звуку для основного вікна.


Рис. 2. Параметри запусненого відеопотоку

Одна із проблем з якою, автори зіткнулися, — це неповна документація для класів, інтерфейсів, методів і змінних, в більшості випадків — три-чотири слова, які не дуже добре пояснювало роботу. Деякий час приходилося тестувати методи бібліотеки для реалізації коду транлювання відеопотоку.

Коли була реалізована функція транлювання, вже стояло питання про підбір параметрів відео для транлювання, такі як: розширення, бітова швидкість, кодек і протокол передачі відеопотоку. Для початку було взято стандартний набір розширень: 144 progressive scan ‘прогресивне сканування’ (р, формат відображення, збереження або передачі рухомих зображень, у якому всі рядки кожного кадру малюються послідовно), 240p (352×240), 360p, 480p, 720p, 1080p, 1440p і 2160p. Бітову швидкість було вирішено брати просто зі степенів двійки починаючи з 16 до 8192 кбіт/с. Кодеки були взяті майже всі, які підтримувала бібліотека: mp1v, mp2v, mp4v, SVQ1, SVQ3, DVDv, WMV1, WMV2, WMV3, DVSD, MJPG, H263, h264, theo, IV20, IV40, RV10, cvid, VP31, FLV1, CYUV, HFYU, MSVC, AASC, FLIc, QPEG і VP8. З протоколів вибір був не великий VLC підтримує тільки: HTTP, RTP та RTSP.

Коли вхідні данні були визначені було почате тестування. Спочатку, я провів відфільтрування кодеків, тому що не всі кодеки працюють в парі з протоколом, працюють лише ті які підтримує сам протокол. Результати приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Підтримка кодеків різними протоколами

Кодек	Протокол			Кодек	Протокол		
	HTTP	RTP	RTSP		HTTP	RTP	RTSP
mp1v	+	+	–	IV20	–	–	–
mp2v	+	+	–	IV40	–	–	–
mp4v	+	+	+	RV10	–	–	–
SVQ1	–	–	–	cvid	–	–	–

SVQ3	-	-	-	VP31	-	-	-
DVDv	-	-	-	FLV1	-	-	-
WMV1	+	+	-	CYUV	-	-	-
WMV2	+	+	-	HFYU	-	-	-
WMV3	+	-	-	MSVC	-	-	-
DVSD	-	-	-	AASC	-	-	-
MJPG	+	+	+	FLIc	-	-	-
H263	-	-	-	QPEG	-	-	-
h264	+	+	+	VP8	-	-	-
theo	-	-	+				

Для проведення експерименту потрібні лише ті кодеки, які працюють з усіма трьома протоколами. З табл. 2 зрозуміло, що це є mp4v, MJPG і h264.

СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ГРАНИЧНИХ УМОВАХ

Перед тим як переходити далі, я хочу зазначити що критичним місцем у цьому експерименті виявився процесор. Для проведення тестів використовувався процесор AMD FX(tm)-6350 Six-Core Processor 3,9 ГГц.

При проведенні експерименту була виявлена проблема: збільшення навантаження на процесор зі збільшенням розширення екрану (роздільної здатності) пристрою. При розширенні екрану 720p, велике навантаження на процесор, яка не залежить від бітрової швидкості. На рис. 3 синім кольором виділене вузьке місце.

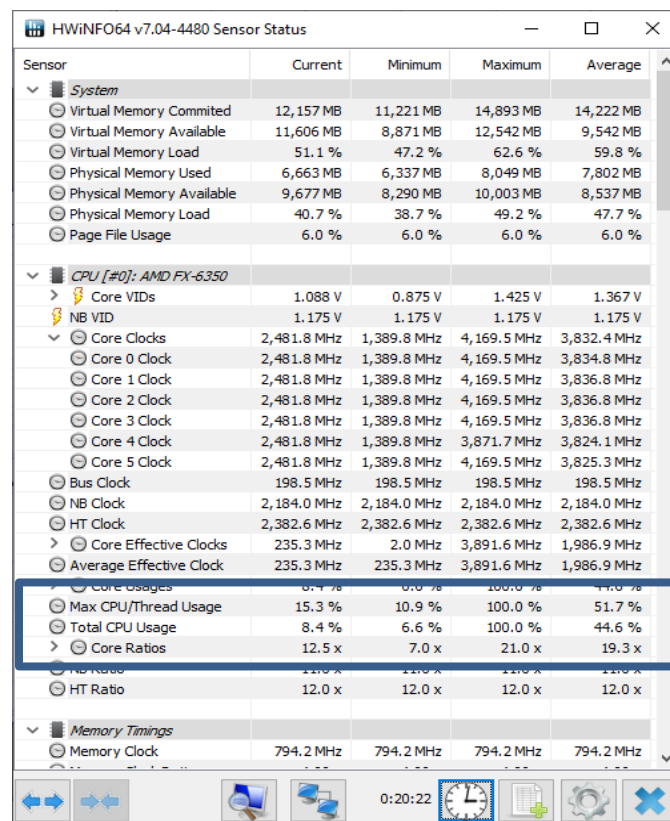


Рис. 3. Параметри запущеного відеопотоку

Через це з'являються перші помилки на графіку (рис. 4 і 5), хоча при менших розширеннях помилки майже не виникають.

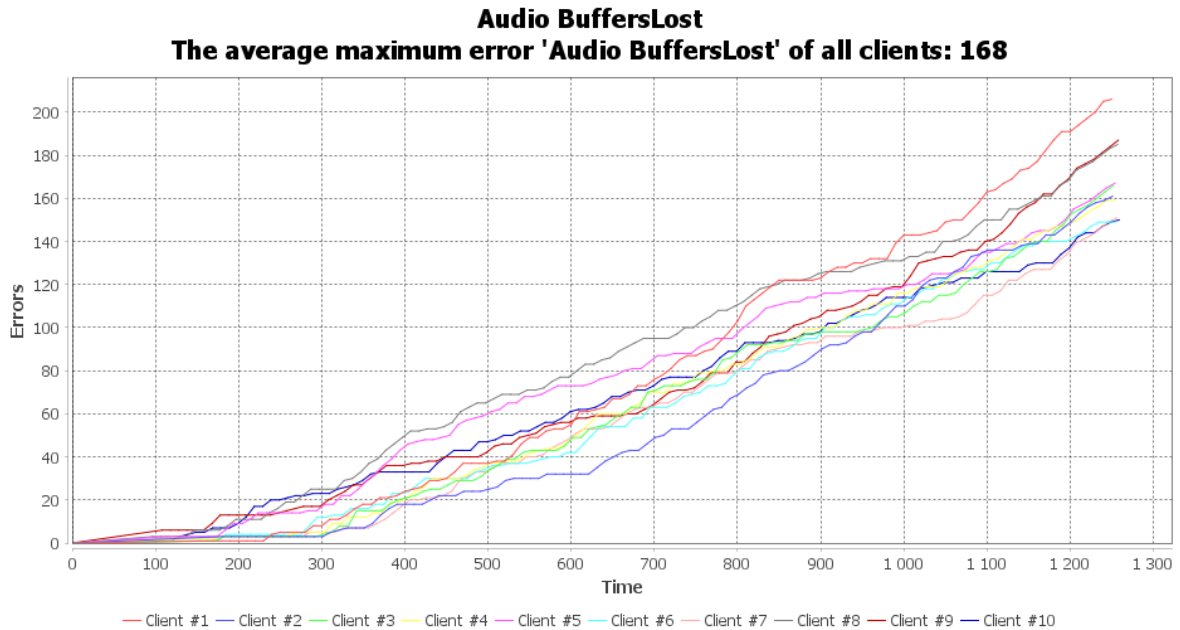


Рис. 4. Приклад помилок Audio Buffers Lost для розширення 720p

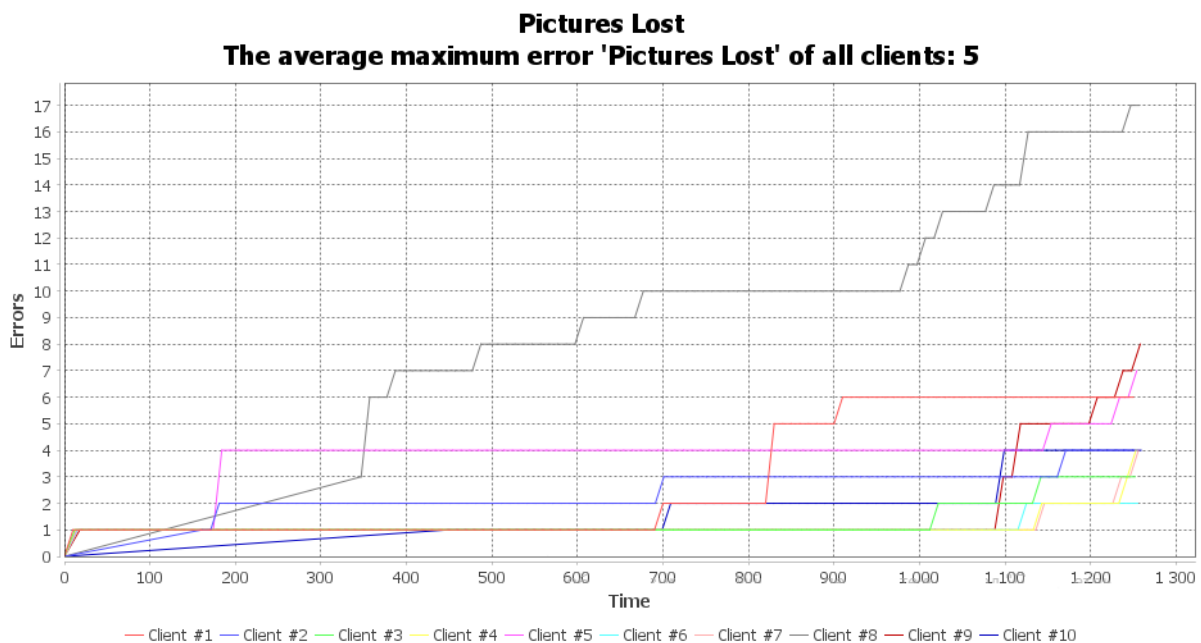


Рис. 5. Приклад помилок Picture Lost для розширення 720p

З цих прикладів візуально видно який скачок помилок і часу виконання, більш детально про це буде описано в наступних розділах. Ситуація з 1080p, ще гірша, середнє навантаження процесора виросло на 20%. Результати погіршилися в рази, час виконання дослідів виріс в півтори рази. А також середнє навантаження процесора. Тести вище 1080p, або запускалися, але зразу припинялися без помилки, або просто не запускалися.

Треба зазначити, що при розширеннях нижче 720р, тести проходять чисто без помилок і великого навантаження на процесора.

Роблячи висновок з цієї ситуації було вирішено змінити вхідні дані розширень екранів. Використовувати лише найпопулярніші для телефону і ПК. Після збору інформації було встановлено, що це: 1366×768 (для ПК) і 360×640 (для телефонів). При проведенні дослідів уже з оновленими вхідними даними. Виявилася помилка, що протокол RTP не підтримував більше одного підключення. Також протокол RTSP не зміг пройти дослід на інших кодеках крім MP4V, дослід припинявся раніше ніж потрібно без помилки, судячи по показникам причиною цього була дуже велика загрузка процесора. Всі інші протоколи успішно пройшли дослід і були отримані результати.

Також підчас тестування програмного забезпечення і проведення дослідів були виявлені мережеві помилки типу Demux, які є рідкісними помилками демультимплексування, показані на рис. 6.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПОРІВНЯННЯ КОДЕКІВ

Для проведення дослідів потрібно було підібрати кодеки так, щоб відповідали вимогам, а також підтримувалися вибраною бібліотекою. Оскільки ми використовували три різних протоколи для отримання кількісної оцінки. Стояла задача підібрати такі кодеки які могли б працювати з усіма трьома протоколами.

Роблячи висновок з табл. 2 в попередньому розділі, були вибрані MP4V, MJPG і H.264 кодеки. До оновлення вхідних даних, найкраще показав себе кодек MP4V.

Pictures Lost

The average maximum error 'Pictures Lost' of all clients: 5

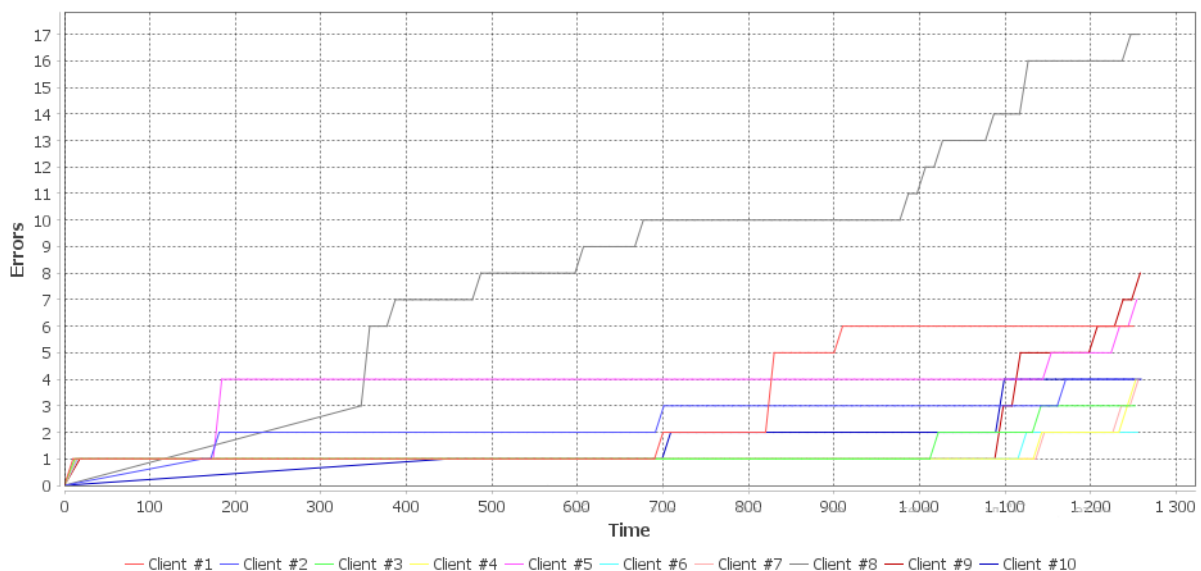


Рис. 6. Приклад помилок Demux Discontinuity для розширення 1080р

Він пройшов всі дослідів успішно з HTTP протоколом (з іншими протоколами дослідів були проведені з новими вхідними даними), але не без нюансів. До 720р, все йшло чудово, але вже при такому розширенні екрану почалися проблеми частково описані в попередньому розділі. А саме дуже високе навантаження на процесор, а також зниження кількості кадрів в секунду при бітовій швидкості вище 128 кбіт/с, і в більшості випадків не запланована зупинка відтворення відео без помилок. З 1080р ситуація така

ж само, тільки гірша. Детальніше це буде розглянуто в наступному розділі. Схематично ці проблеми приведені в табл. 3.

Таблиця 3

Залежність кількості помилок від часу проходження досліджу

Розширення екрану	Бітова швидкість, кбіт/с	Середня кількість помилок всіх клієнтів	Час, с
[144p, 240p, 320p, 480p]	[16, 32, 64, 128, 8192]	0	1200
720p	16	0	1200
720p	32	73	1180
720p	64	173	1260
720p	128	200	1290
720p	256	164	1250
720p	512	252	1440
720p	1024	292	1390
720p	2048	137	1140
720p	4096	57	980
720p	8192	1	850
1080p	16	1333	2280
1080p	32	1972	2510
1080p	64	2249	2720
1080p	128	1659	3500
1080p	256	1541	2880
1080p	512	1499	3530
1080p	1024	2093	4400
1080p	2048	2197	3920
1080p	4096	1893	3330
1080p	8192	2590	2970

При зміні вхідних даних. Ситуація майже така сама. При збільшенні розширення, збільшується кількість помилок і час. Дивлячись на табл. 3 зрозуміло, що бітова швидкість не має особливого впливу. І це може показати табл. 4. В якій вже нові вхідні данні.

Таблиця 4

Дослід з кодеком MP4V

Протокол	Розширення екрану	Бітова швидкість, кбіт/с	Загальна кількість помилок під час дослідження			Час, с		
			MP4V	MJPG	H.264	MP4V	MJPG	H.264
HTTP	360×640	8	0	0	94	1200	1200	1200
	360×640	32	0	0	2	1200	1200	1200
	1366×768	8	3821	147	6424	3500	2700	1560
	1333×768	32	3392	1390	8179	3720	3120	1500
RTP	360×640	8	0	0	0	1200	1200	1200
	360×640	32	0	0	0	1200	1200	1200
	1366×768	8	0	7	0	1200	1200	1200
	1333×768	32	0	9	0	3000	1200	1200
RTSP	360×640	8	2	–	–	1200	–	–
	360×640	32	2	–	–	1200	–	–
	1366×768	8	–	–	–	–	–	–
	1333×768	32	–	–	–	–	–	–

MJPEG кодек має свої особливості. Він не працює коректно з протоколом rtsp, він не завжди коректно відтворював відео залежності від розширення екрану. H.264 це дуже ресурсозатратний кодек, який оброблює відео з максимальним збереженням якості. З протоколами RTP і RTSP він відмовляється працювати, відтворення відео припиняється після повної завантаження процесора. Зв'язане це з тим, що ці протоколи розроблені спеціально для передачі потокового відео без втрати якості через це вони дуже ресурсозатратні в зв'язку з кодеком H.264.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПОТВОРЕНЬ ЗОБРАЖЕНЬ

Під час проведення дослідів, ми зіткнулися з різними аномаліями відео. сама найгірша була, проблема з відтворення відео у кодека MJPG (рис. 7 та 9).



Рис. 7. Затримка кадрів

На рис. 8 представлений скріншот з такою конфігурацією: протоколом HTTP, кодеком MJPG та прозширенням 1366×768. На рисунку зображена затримка кадрів. Зверху кадри йдуть в теперішньому часі, по середині минулий кадр який слідує зразу після першого. В самому низу зелена область яка протягом всього відео ніяк не змінюється.



Рис. 8. Помилка кодеку

На рис. 9 представлений скріншот з такою конфігурацією: протоколом RTSP, кодек MJPG, бітова швидкість 8 кбіт/с та розширенням 360×640. На рисунку зображена фатальна помилка кодеку, коли він не може працювати з розширенням екрану 360×640 та протоколом RTSP. При розширенні 1366×768, відео зовсім не відтворювалося.



Рис. 9. Некоректне відмальовування кадрів

На рис. 10 представлений скріншот з такою конфігурацією: протоколом RTP, кодек MJPG, бітова швидкість 16 кбіт/с та розширенням 1366×768. На рисунку зображена проблема коли кодек не може коректно відмальовувати таке розширення відео як 1366×768.

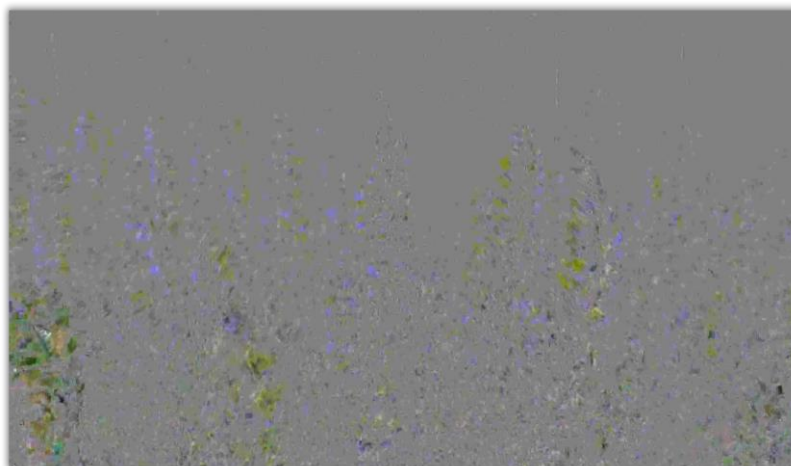


Рис. 10. Білий шум

На рис. 11 представлений скріншот з білими шумом в премішку з відео(протокол HTTP, кодек MP4V, бітова швидкість 8 кбіт/с та розширенням 1366×768).

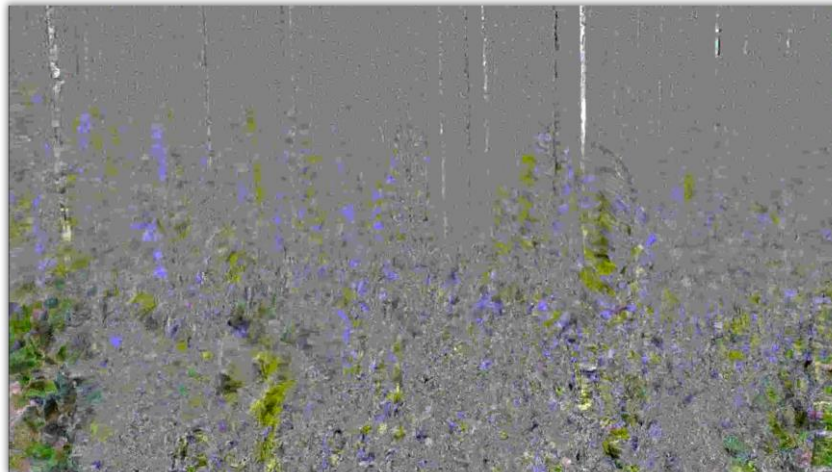


Рис. 11. Білий шум в перемішу з кадрами

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОДЕКУ

Основна проблема яка виникла під час дослідів, це низька кількість кадрів з подальшим завершенням відеопотоку без помилки при деяких конфігураціях потоку. Зв'язана вона з тим, що система, на якій проводилися досліди, досягла своєї межі продуктивності, а саме процесор (рис. 12).

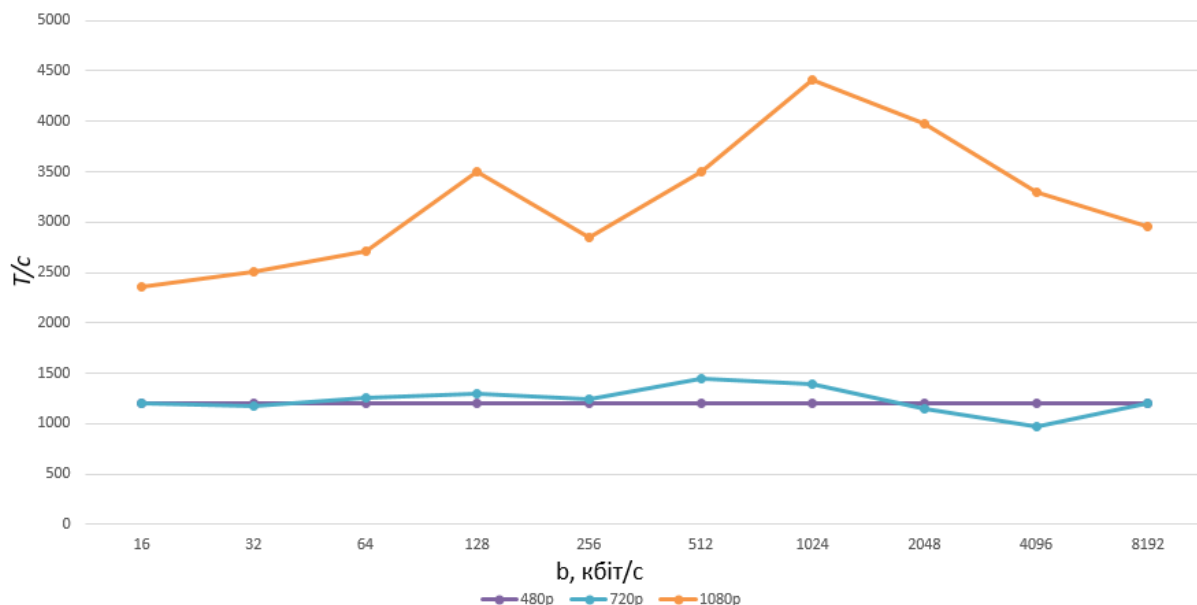


Рис. 12. Діаграма помилок до зміни вхідних даних

Графік на рис. 13 ілюструє картину, яка призвела до зміни вхідних даних. З 144р до 460р досліди були проведені без проблем, але починаючи з 720р спочатку зі збільшенням бігової швидкості збільшується час проведення дослідів, через зниження частоти кадрів, а потім починається провал. Всі досліди після 128 кбіт/с закінчувалися раніше ніж потрібно. Більш точно ілюструє проблему наступний графік.

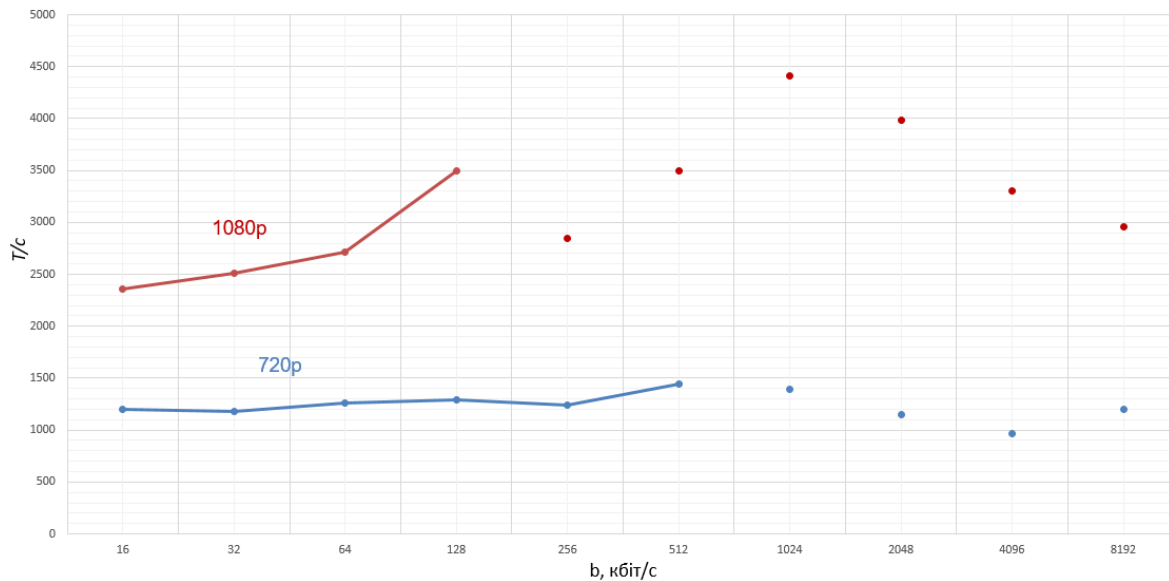


Рис. 13. Залежність часу дослідів від бітової швидкості

Добре видно як до 128 кбіт/с дослідів проходять успішно, а потім починаються припинення відеопотоку без інформації про помилку.

Після зміни вхідних даних, і проведення нових дослідів. Було досягнуто цілі і отримані графіка зі стабільною роботою кодеків. Для розрахунку точок зриву можна використовувати наближене співвідношення, отримане за результатами експериментальних вимірювань, показаних на рис. 14 і 15.

Час передавання даних для граничних випадків:

$$T(b) = 2T_0 + \frac{\pi}{5} e^{\log_2 b}, \quad (2)$$

де T_0 – базовий час вимірювання, хв.; b –бітова швидкість, кбіт/с.

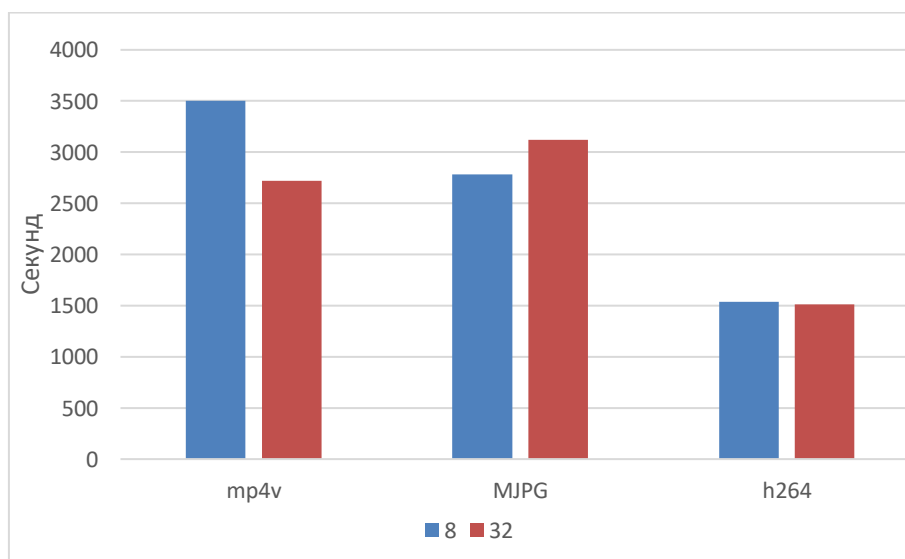


Рис. 14. Результат дослідів для HTTP

Цей графік ілюструє залежність бітової швидкості і кодеків від часу виконання, при протоколі HTTP найкраще себе проявив кодек H.264. А графік на рис. 15 ілюструє таку ж ситуацію, але вже для RTP протоколу.

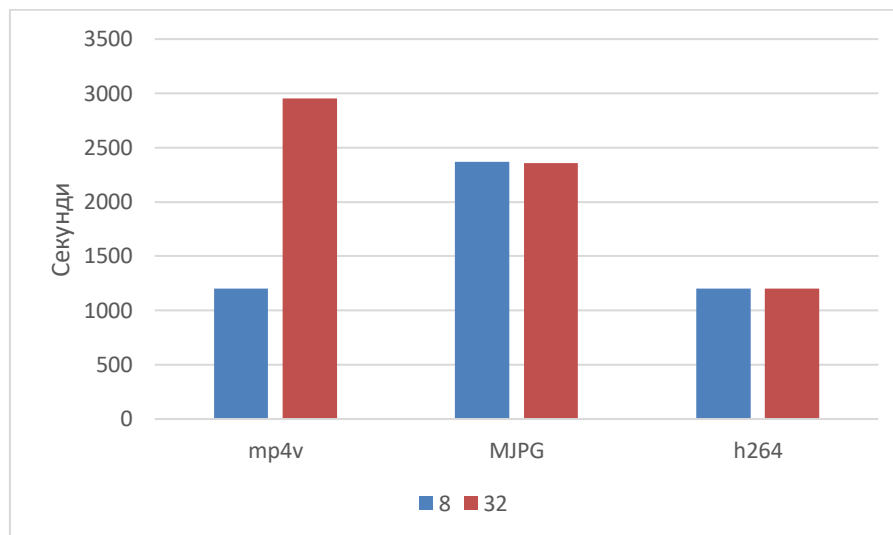


Рис. 15. Результат дослідження для RTP

По цим двом графікам можна зробити висновок, що найкраще себе проявляє кодек H.264.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Від початку розробки програми і до завершення дослідів ми стикалися з різними труднощами. В процесі пошуку бібліотеки важливими критеріями відбору були, це наявність документації та інтеграція зі Swing. Під час проведення дослідів з розширеннями екрану 240p–1080p, стало зрозуміло що це не доцільно і займає багато часу. Було вирішено змінити вхідні дані. Після зміни вхідних даних і проведення дослідів було виявлено, що найкраще себе показав кодек H.264.

У наступних роботах планується дослідити вплив якості аудіокодеків у моменти зриву сигналу, а також поведінку різноманітного комерційного програмного забезпечення для телеконференцій в граничних умовах роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Winkler, S. (2005). Digital Video Quality. John Wiley & Sons Ltd., <https://doi.org/10.1002/9780470024065>.
2. Бурячок, В. Л., & Соколов, В. Ю. (2019). Методи забезпечення гарантоздатності і функціональної безпеки безпроводової інфраструктури на основі апаратного розділення абонентів: Монографія. Київський університет імені Бориса Грінченка.
3. Sokolov, V., Vovkotrub, B., & Zotkin, Y. (2019). Comparative Bandwidth Analysis of Lowpower Wireless IoT-Switches. In Cybersecurity: Education, Science, Technique (Issue 5, pp. 16–30). Borys Grinchenko Kyiv University. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.5.1630>.
4. Sokolov, V. Y. (2018). Comparison of Possible Approaches for the Development of Low-Budget Spectrum Analyzers for Sensory Networks in the Range of 2.4–2.5 GHz. In Cybersecurity: Education, Science,



- Technique (Issue 2, pp. 31–46). Borys Grinchenko Kyiv University. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2018.2.3146>.
5. Vladymyrenko, M., Sokolov, V., & Astapenya, V. (2019). Research of Stability in Ad Hoc Self-Organized Wireless Networks. In *Cybersecurity: Education, Science, Technique* (Issue 3, pp. 6–26). Borys Grinchenko Kyiv University. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.3.626>.
 6. Buriachok, V., Sokolov, V., & Mahyar, T. D. (2020). Research of Caller ID Spoofing Launch, Detection, and Defense. In *Cybersecurity: Education, Science, Technique* (Vol. 3, Issue 7, pp. 6–16). Borys Grinchenko Kyiv University. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.616>.
 7. Ahonen, T. T. (2012). The State of the Union Blog for Mobile Industry—All the Stats and Facts for 2012. <http://communities-dominate.blogs.com/brands/2012/02/the-state-of-the-union-blog-for-mobile-industryall-the-stats-and-facts-for-2012.html>.
 8. Molnar, A. (2014). On Better Understanding the Usage of Mobile Phones for Learning Purposes. In *Bull IEEE Tech Committee Learn Technol* (Vol. 16, Issue 2/3, pp. 18).
 9. Kong, S. C., & Song, Y. (2015). An Experience of Personalized Learning Hub Initiative Embedding BYOD for Reflective Engagement in Higher Education. In *Computers & Education* (Vol. 88, pp. 227–240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.06.003>.
 10. Nur, G., Arachchi, H. K., Dogan, S., & Kondo, A. M. (2012). Seamless Video Access for Mobile Devices by Content-Aware Utility-based Adaptation. In *Multimedia Tools and Applications* (Vol. 70, Issue 2, pp. 689–719). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s11042-012-1120-2>.
 11. Wang, M., & Shen, R. (2011). Message Design for Mobile Learning: Learning Theories, Human Cognition and Design Principles. In *British Journal of Educational Technology* (Vol. 43, Issue 4, pp. 561–575). Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2011.01214.x>.
 12. Chang, Y. L., Hou, H. T., Pan, C. Y., Sung, Y. T., & Chang, K. E. (2015). Apply an Augmented Reality in a Mobile Guidance to Increase sense of Place for Heritage Places. *J Educ Technol Soc* (Vol. 18, Issue 2, pp. 166–178).
 13. Giannakos, M. N. (2013). Exploring the Video-based Learning Research: A Review of the Literature. In *British Journal of Educational Technology* (Vol. 44, Issue 6, pp. E191–E195). Wiley. <https://doi.org/10.1111/bjet.12070>.
 14. Macdonald, I., & Chiu, J. (2011). Evaluating the Viability of Mobile Learning to Enhance Management Training. *Canadian Journal of Learning and Technology/La Revue Canadienne de l'Apprentissage et de la Technologie* (Vol. 37, Issue 1).
 15. Jumisko-Pyykkö, S., & Häkkinen, J. (2005). Evaluation of Subjective Video Quality of Mobile Devices. In *Proceedings of the 13th Annual ACM International Conference on Multimedia - MULTIMEDIA '05*. the 13th Annual ACM International Conference. ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1101149.1101270>.
 16. Molnar, A., El-Haddadeh, R., & Hackney, R. (2013). Facilitating the Adoption of Public Services using High Definition Video: The Case of Primary Education. In *Americas Conference on Information Systems*. AIS Electronic Library (AISeL).
 17. Hwang, G.-J., Lai, C.-L., & Wang, S.-Y. (2015). Seamless Flipped Learning: A Mobile Technology-Enhanced Flipped Classroom with Effective Learning Strategies. In *Journal of Computers in Education* (Vol. 2, Issue 4, pp. 449–473). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0043-0>.
 18. Newman, J. (2011). Netflix has Bandwidth Cap Sufferers Covered. <http://www.pcworld.com/article/230982/Netflix-Has-Bandwidth-Cap-Sufferers-Covered.html>.
 19. Tato, T. (2015). Youtube: T-Mobile is Throttling all Video Traffic, Regardless of Binge on Enrollment. <http://www.droid-life.com/2015/12/23/t-mobile-youtube-throttling/>.
 20. Molnar, A., & Muntean, C. H. (2013). Cost-Oriented Adaptive Multimedia Delivery. In *IEEE Transactions on Broadcasting* (Vol. 59, Issue 3, pp. 484–499). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/tbc.2013.2244786>.
 21. Trestian, I., Ranjan, S., Kuzmanovic, A., & Nucci, A. (2012). Taming the Mobile Data Deluge With Drop Zones. In *IEEE/ACM Transactions on Networking* (Vol. 20, Issue 4, pp. 1010–1023). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/tnet.2011.2172952>.
 22. Edward, T. (2015). Youtube Ranking Factors: Getting Ranked in the Second Largest Search Engine. <http://searchengineland.com/youtube-ranking-factors-getting-ranked-second-largest-search-engine-225533>.
 23. Helft, M. (2009). Is Youtube the Next Google? <https://www.nytimes.com/2009/01/18/technology/18iht-ping.1.19448468.html>.



24. Deb, S. (2011). Effective Distance Learning in Developing Countries using Mobile and Multimedia Technology. *Int J Multimedia Ubiquitous Eng* (Vol. 6, Issue 2, pp. 33–40).
25. Wang, M., Shen, R., Novak, D., & Pan, X. (2009). The Impact of Mobile Learning on Students' Learning Behaviours and Performance: Report from a Large Blended Classroom. In *British Journal of Educational Technology* (Vol. 40, Issue 4, pp. 673–695). Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00846.x>.
26. Gregson, J., & Jordaan, D. (2009). Exploring the Challenges and Opportunities of m-Learning within an International Distance Education Programme. In *Mobile Learning: Transforming the Delivery of Education and Training* (pp. 215–246).
27. Rekkedal, T., & Dye, A. (2007). Mobile Distance Learning with PDAs: Development and Testing of Pedagogical and System Solutions Supporting Mobile Distance Learners. In *The International Review of Research in Open and Distributed Learning* (Vol. 8, Issue 2). Athabasca University Press. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v8i2.349>.
28. Dye, A., & Rekkedal, T. (2008). Enhancing the Flexibility of Distance Education Through Mobile Learning. In *The European Consortium for the Learning Organisation, ECLO–15th International Conference*. Budapest.
29. Shen, R., Wang, M., Gao, W., Novak, D., & Tang, L. (2009). Mobile Learning in a Large Blended Computer Science Classroom: System Function, Pedagogies, and Their Impact on Learning. In *IEEE Transactions on Education* (Vol. 52, Issue 4, pp. 538–546). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/te.2008.930794>.

**Andrii V. Byts**

Master's Student of the Department of Information and Cyber Security named after Professor Volodymyr Buriachok

Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-8622-2370

andreybits99@outlook.com

Volodymyr Y. Sokolov

PhD, Associate Professor

Associate Professor of the Department of Information and Cyber Security named after Professor Volodymyr Buriachok

Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-9349-7946

v.sokolov@kubg.edu.ua

Nataliia P. Mazur

PhD, Associate Professor

Associate Professor of the Department of Information and Cyber Security named after Professor Volodymyr Buriachok

Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-7671-8287

n.mazur@kubg.edu.ua

Valerii A. Kozachok

PhD, Associate Professor

Associate Professor of the Department of Information and Cyber Security named after Professor Volodymyr Buriachok

Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-0072-2567

v.kozachok@kubg.edu.ua

Anatoly V. Bessalov

DSc, Professor

Professor of the Department of Information and Cyber Security named after Professor Volodymyr Buriachok

Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-6967-5001

a.bessalov@kubg.edu.ua

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF MOBILE TELECONFERENCES

Abstract. The article considers the problem of ensuring the availability and integrity of wireless subscribers in cellular and other wireless corporate networks. The article aims to determine the threshold values for the moment of failure of video transmission, quantitative parameters, artifacts, and the number of errors for the image. Show the dependence of the integrity of data transmitted in real-time on the characteristics of the environment. Two approaches were used to assess the quality of video information: qualitative (image recognition assessment) and quantitative (error measurement). Because the research program was written in the Kotlin programming language, a library written in Java or Kotlin was required. After searching the library, it turned out that only three libraries meet such parameters as reliability, relevance, and availability of documentation: Jaffree, Xuggler, and VLCJ. After gathering information, it was found that the most common screen extensions for desktops are 1366×768 and for phones— 360×640 . An error occurred that RTP did not support more than one connection. Also, the RTSP protocol could not pass the experiment on codecs other than MP4V. The experiment stopped earlier than necessary without error. Judging by the indicators, this was a very high CPU load. All other protocols were successfully tested, and results were obtained. During the experiments, we encountered various video anomalies. The worst was the video playback problem with the MJPG codec. Other anomalies were also identified: frame delay, incorrect frame rendering, white noise, and white noise mixed with frames. It is clear how up



to 128 kbps experiments are successful and then begin to stop the video stream without error information. According to the results of experiments, the H.264 codec performs best.

Keywords: integrity, availability, teleconferencing, VoIP, video quality, quality of service, QoS.

REFERENCES

1. Winkler, S. (2005). *Digital Video Quality*. John Wiley & Sons Ltd., <https://doi.org/10.1002/9780470024065>.
2. Buriachok, V. L., & Sokolov, V. Y. (2019). *Methods of Ensuring the Security and Functional Security of Wireless Infrastructure based on Hardware Separation of Subscribers: Monograph*. Borys Grinchenko Kyiv University.
3. Sokolov, V., Vovkotrub, B., & Zotkin, Y. (2019). Comparative Bandwidth Analysis of Lowpower Wireless IoT-Switches. In *Cybersecurity: Education, Science, Technique* (Issue 5, pp. 16–30). Borys Grinchenko Kyiv University. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.5.1630>.
4. Sokolov, V. Y. (2018). Comparison of Possible Approaches for the Development of Low-Budget Spectrum Analyzers for Sensory Networks in the Range of 2.4–2.5 GHz. In *Cybersecurity: Education, Science, Technique* (Issue 2, pp. 31–46). Borys Grinchenko Kyiv University. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2018.2.3146>.
5. Vladymyrenko, M., Sokolov, V., & Astapenya, V. (2019). Research of Stability in Ad Hoc Self-Organized Wireless Networks. In *Cybersecurity: Education, Science, Technique* (Issue 3, pp. 6–26). Borys Grinchenko Kyiv University. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.3.626>.
6. Buriachok, V., Sokolov, V., & Mahyar, T. D. (2020). Research of Caller ID Spoofing Launch, Detection, and Defense. In *Cybersecurity: Education, Science, Technique* (Vol. 3, Issue 7, pp. 6–16). Borys Grinchenko Kyiv University. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.616>.
7. Ahonen, T. T. (2012). The State of the Union Blog for Mobile Industry—All the Stats and Facts for 2012. <http://communities-dominate.blogs.com/brands/2012/02/the-state-of-the-union-blog-for-mobile-industryall-the-stats-and-facts-for-2012.html>.
8. Molnar, A. (2014). On Better Understanding the Usage of Mobile Phones for Learning Purposes. In *Bull IEEE Tech Committee Learn Technol* (Vol. 16, Issue 2/3, pp. 18).
9. Kong, S. C., & Song, Y. (2015). An Experience of Personalized Learning Hub Initiative Embedding BYOD for Reflective Engagement in Higher Education. In *Computers & Education* (Vol. 88, pp. 227–240). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.06.003>.
10. Nur, G., Arachchi, H. K., Dogan, S., & Kondoz, A. M. (2012). Seamless Video Access for Mobile Devices by Content-Aware Utility-based Adaptation. In *Multimedia Tools and Applications* (Vol. 70, Issue 2, pp. 689–719). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s11042-012-1120-2>.
11. Wang, M., & Shen, R. (2011). Message Design for Mobile Learning: Learning Theories, Human Cognition and Design Principles. In *British Journal of Educational Technology* (Vol. 43, Issue 4, pp. 561–575). Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2011.01214.x>.
12. Chang, Y. L., Hou, H. T., Pan, C. Y., Sung, Y. T., & Chang, K. E. (2015). Apply an Augmented Reality in a Mobile Guidance to Increase sense of Place for Heritage Places. *J Educ Technol Soc* (Vol. 18, Issue 2, pp. 166–178).
13. Giannakos, M. N. (2013). Exploring the Video-based Learning Research: A Review of the Literature. In *British Journal of Educational Technology* (Vol. 44, Issue 6, pp. E191–E195). Wiley. <https://doi.org/10.1111/bjet.12070>.
14. Macdonald, I., & Chiu, J. (2011). Evaluating the Viability of Mobile Learning to Enhance Management Training. *Canadian Journal of Learning and Technology/La Revue Canadienne de l'Apprentissage et de la Technologie* (Vol. 37, Issue 1).
15. Jumisko-Pyykkö, S., & Häkkinen, J. (2005). Evaluation of Subjective Video Quality of Mobile Devices. In *Proceedings of the 13th Annual ACM International Conference on Multimedia - MULTIMEDIA '05*. the 13th Annual ACM International Conference. ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1101149.1101270>.
16. Molnar, A., El-Haddadeh, R., & Hackney, R. (2013). Facilitating the Adoption of Public Services using High Definition Video: The Case of Primary Education. In *Americas Conference on Information Systems*. AIS Electronic Library (AISel).



17. Hwang, G.-J., Lai, C.-L., & Wang, S.-Y. (2015). Seamless Flipped Learning: A Mobile Technology-Enhanced Flipped Classroom with Effective Learning Strategies. In *Journal of Computers in Education* (Vol. 2, Issue 4, pp. 449–473). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0043-0>.
18. Newman, J. (2011). Netflix has Bandwidth Cap Sufferers Covered. http://www.pcworld.com/article/230982/Netflix_Has_Bandwidth_Cap_Sufferers_Covered.html.
19. Tato, T. (2015). Youtube: T-Mobile is Throttling all Video Traffic, Regardless of Binge on Enrollment. <http://www.droid-life.com/2015/12/23/t-mobile-youtube-throttling/>.
20. Molnar, A., & Muntean, C. H. (2013). Cost-Oriented Adaptive Multimedia Delivery. In *IEEE Transactions on Broadcasting* (Vol. 59, Issue 3, pp. 484–499). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/tbc.2013.2244786>.
21. Trestian, I., Ranjan, S., Kuzmanovic, A., & Nucci, A. (2012). Taming the Mobile Data Deluge With Drop Zones. In *IEEE/ACM Transactions on Networking* (Vol. 20, Issue 4, pp. 1010–1023). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/tnet.2011.2172952>.
22. Edward, T. (2015). Youtube Ranking Factors: Getting Ranked in the Second Largest Search Engine. <http://searchengineland.com/youtube-ranking-factors-getting-ranked-second-largest-search-engine-225533>.
23. Helft, M. (2009). Is Youtube the Next Google? <https://www.nytimes.com/2009/01/18/technology/18iht-ping.1.19448468.html>.
24. Deb, S. (2011). Effective Distance Learning in Developing Countries using Mobile and Multimedia Technology. *Int J Multimedia Ubiquitous Eng* (Vol. 6, Issue 2, pp. 33–40).
25. Wang, M., Shen, R., Novak, D., & Pan, X. (2009). The Impact of Mobile Learning on Students' Learning Behaviours and Performance: Report from a Large Blended Classroom. In *British Journal of Educational Technology* (Vol. 40, Issue 4, pp. 673–695). Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00846.x>.
26. Gregson, J., & Jordaan, D. (2009). Exploring the Challenges and Opportunities of m-Learning within an International Distance Education Programme. In *Mobile Learning: Transforming the Delivery of Education and Training* (pp. 215–246).
27. Rekkedal, T., & Dye, A. (2007). Mobile Distance Learning with PDAs: Development and Testing of Pedagogical and System Solutions Supporting Mobile Distance Learners. In *The International Review of Research in Open and Distributed Learning* (Vol. 8, Issue 2). Athabasca University Press. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v8i2.349>.
28. Dye, A., & Rekkedal, T. (2008). Enhancing the Flexibility of Distance Education Through Mobile Learning. In *The European Consortium for the Learning Organisation, ECLO–15th International Conference*. Budapest.
29. Shen, R., Wang, M., Gao, W., Novak, D., & Tang, L. (2009). Mobile Learning in a Large Blended Computer Science Classroom: System Function, Pedagogies, and Their Impact on Learning. In *IEEE Transactions on Education* (Vol. 52, Issue 4, pp. 538–546). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/te.2008.930794>.

