

УДК 004

Є.Подплетний, магістр гр. КІ-23М

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВІДЕО-КОНФЕРЕНЦ-ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ СЕРВЕРІВ MCU

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU. Об'єктом дослідження є процес відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU. Предметом дослідження є методи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU. Методи дослідження базуються на методах теорії кодування, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Зміни на ринку відео-конференц-зв'язку (ВКЗ) багато в чому обумовлені тим, що ВКЗ поступово переходить у зону відповідальності ІТ-підрозділів компаній, тоді як раніше цими системами в основному займалися фахівці з аудіовізуального (AV) рішення або зв'язківці. З переходом ВКЗ під крило ІТ міняються й самі технічні рішення. Спеціалізовані програмно-апаратні комплекси, що домінували раніше, користуються на ринку всі меншим попитом, тоді як популярність набирають програмні рішення – як клієнти, так і сервери, включаючи MCU. Сьогодні вже складно знайти виробника серверів MCU, що не мав би програмних варіантів таких продуктів. Ціла низка придбань (Brother купила компанію Nefsis, LifeSize – ClearSea, Radvision – Scopia (згодом сама Radvision увійшла до складу Avaya), ClearOne – Spontania, 3CX – e-works) також показує, що виробники останнім часом спішно заповнювали відсутню експертизу в області програмних рішень. Міняється й модель ціноутворення на ринку ВКЗ-рішень: якщо раніше вартість таких рішень розраховували виходячи з кількості портів, то сьогодні все частіше розрахунок виробляється по числу користувачів, що обслуговуються, що відповідає програмній суті рішень нового покоління.

Впровадження систем ВКЗ почалося ще на початку нульових років. Однак через високу вартість традиційних рішень ВКЗ розвиток системи йшов надзвичайно повільно. Було ухвалено рішення про впровадження більше дешевого програмного сервера ВКЗ. ПЗ було розгорнуто на фізичному сервері, що перебуває безпосередньо в установі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.
 - Дослідження системи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.
 - Програмна реалізація системи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.
- Об'єктом дослідження є процес відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.*
Предметом дослідження є методи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.

Методи дослідження базуються на методах теорії кодування, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Напевно в кожному ІТ-відділі, рано або пізно, виникає завдання: «забезпечити можливість проведення відеоконференцій (вебінарів)». Пошук по мережі запропонує Вам велика кількість рішень: апаратні, програмні, хмарні сервіси. Що вибрати й що не забути врахувати при такому виборі? На що звернути увагу при виборі системи? Адже на неї прийде витратити чимало часу (а можливо й засобів) і буде кривдно з'ясувати через рік-два, що обрано тупикову галузь розвитку.

Критерії вибору

Що вибрати – саме складне питання, і універсальної відповіді на нього не існує. Відповідь для кожного свій, тому що залежить від великої кількості параметрів:

- **Гроші:** первинний і головний параметр, коли їх менше 2-х (3-х, 5-ти .. 30-ти .. 50-ти) мільйонів грн. це накладає відчутні обмеження на волю вибору.
- **Устаткування:** наявність раніше придбаного встаткування для організації ВКЗ, наявність вільних обчислювальних потужностей у ЦОДі.
- **Канали зв'язку:** ширина Вашого каналу зв'язку, ширина і якість каналів у клієнтів.
- **Якість:** а раптом начальство бажає картинку високого дозволу (див. Пункт 3).
- **Кількість клієнтів:** скільки учасників Ви хочете бачити одночасно, бути присутнім (слухати й дивитися) звичайно можуть багато хто.
- **Завдання:** Вам потрібно переважно обговорення (відеозв'язок), або бізнес-презентація (демонстрація чого-небудь), а може навчання?
- **Захист:** закритий внутрішній зв'язок або доступний усім сервіс.
- **Кадри:** одна справа купити або скачати, цим же хтось повинен займатися, якщо кадри слабкі – краще платити за рішення «під ключ» і не скупитися.
- **Час:** гроші є, але презентація вже на днях. устаткування не встигне приїхати, можна узяти під оренду встаткування або сервіс, або підняти програмний сервер.
- **Мобільність:** Вам потрібні компактні пристрої в кабінетах або система для конференц-залів, чи будуть у Вас мобільні клієнти (ноутбук з камерою).
- **Запис і трансляція:** не всі системи ВКЗ уміють робити все.
- **Гнучкість:** а як щодо доробки або інтеграції з іншими використовуваними рішеннями.
- **Клієнти:** яке є встаткування в них або їм його треба закуповувати, а якщо програмне рішення те хто його буде набувати на стороні клієнтів, а яка в них операційна система, як щодо сумісності. а може їм простіше забезпечити доступ через браузер.

– **Додатково:** Ваші корпоративні вимоги....

Всі ці параметри Вам краще визначити як можна точніше й заздалегідь, так сказати «на березі», відкладати їх на потім – занадто дороге задоволення.

Рішення існує

Дуже часто бажані Вами параметри ВКЗ можуть суперечити один одному. Якщо у Вас так, то потрібно шукати золоту середину: якимись «хочу» прийде пожертвувати ну або серйозно переглянути бюджет проекту. У моєму випадку відповіді вийшли приблизно такі:

- **Гроші:** 0.00 грн (ти спершу запусти, покажи, проведи 10-20 заходів...).
- **Устаткування:** є запас потужності на ЦОДі й xPoint з керованою камерою (ні про яке додаткове встаткування мова вже не йде, див. Пункт 1).
- **Канали зв'язку:** є клієнти з 128-256 кбіт/сек.
- **Якість:** не критично (див. Пункт 3).
- **Кількість клієнтів:** до 35 учасників, хоча б шість-десять на відеозв'язку.
- **Завдання:** в основному презентація й навчання.
- **Захист:** відкритий доступ.
- **Кадри:** «не хочеш – змусимо, не можеш – навчимо».
- **Час:** строки підискають (грошей не дамо, а подивитися прийдемо).
- **Мобільність:** мобільні клієнти й ПК із веб-камерами.

- Запис і трансляція: запис обговорення й демонстрації (слайдів).
- Гнучкість: інтеграція зі своїм сервером LDAP і веб-порталом.
- Клієнти: тільки через браузер інакше кожному прийде по годині все пояснювати.
- Додатково: немає вимог.

Відео-конференц-зв'язок (ВКЗ) – це технологія інтерактивної взаємодії двох і більше віддалених користувачів, при якій між ними можливий обмін відео- і аудіоінформацією у режимі реального часу.

Відео-конференц-зв'язок (ВКЗ) – сучасний високотехнологічний інструмент спільної роботи, за допомогою якого можна оперативно організовувати онлайн-наради й зустрічі, а також проводити вебінари й онлайн-трансляції на велику кількість учасників. Сучасні системи ВКЗ поступово досягають такого рівня якості передачі відеозображення й звуку, що в процесі спілкування створюється «ефект присутності», а обсяг сприйманої за допомогою ВКЗ інформації досягає порядку 90%. При цьому, на відміну від особистих зустрічей, ВКЗ має ряд переваг, таких як:

- Швидкість і простота організації заходу (наради або онлайн-семінару).
- Можливість миттєво ділитися документами, робочим столом і програмами свого комп'ютера з усіма учасниками, спільно їх обговорювати й редагувати.
- Записувати захід.
- При необхідності підключати інших учасників, що перебувають онлайн, до заходу, де б вони не перебували.
- Брати участь у заходах дистанційно, у тому числі з мобільних пристроїв.
- Підключатися до заходів з телефону.
- Проводити опитування й голосування просто й швидко з автоматичним аналізом результатів у процесі.
- Використовувати чат, у тому числі приватний між окремими учасниками заходу.

Переваги ВКЗ:

- Підвищення ефективності ведення бізнесу.
- Зниження витрат на відрядження й поїздки.
- Прискорення процесу прийняття рішень.
- Економія часу на зустрічах поза офісом.
- Підвищення залученості співробітників, клієнтів і партнерів у робочий процес.

Кейси використання ВКЗ:

- Організація онлайн-зустрічей і нарад між співробітниками компаній (особливо в територіально-розподілених структурах).
- Проведення навчальних / експертних вебінарів, у тому числі в рамках корпоративного навчання.
- Трансляції виступів керівників на співробітників компаній.
- Проведення онлайн-співбесід при підборі персоналу.
- Проведення маркетингових заходів і прес-конференцій онлайн.
- Презентації ринку / продажу продуктів і послуг компаній.
- Обслуговування клієнтів онлайн / відеоконсультації.
- Телемедицина.

Підхід до вибору рішення ВКЗ повинен формуватися, виходячи з відповіді на питання – яким образом організація буде застосовувати відеотехнології? Потрібно розуміти, що за допомогою рішень ВКЗ можна вдосконалити практично всі робочі процеси, які в цей момент припускають використання телефонії, електронної пошти або відряджень.

Наприклад, якщо основне завдання – віддалене навчання співробітників з робочих місць (комп'ютерів), то тут буде досить бюджетного рішення веб-ВКЗ. Якщо ж є потреба забезпечити якісні комунікації між віддаленими офісами компанії на рівні керівництва, між групами співробітників, коли в першу чергу необхідно забезпечити ефект присутності в декількох місцях, то логічно буде використовувати рішення рівня Telepresence (апаратні ВКЗ).

Різні за класом рішення ВКЗ (софтверні й апаратні) можуть гармонійно співіснувати один з одним в одній компанії, закриваючи різні бізнес-процеси й потреби у відео-спілкуванні й спільній роботі співробітників.

Відповідність розв'язуваних завдань у комунікаціях, спільній роботі й існуючих рішеннях ВКЗ

Після визначення – які завдання буде закривати ВКЗ, необхідно визначити модель розгортання мережі ВКЗ на підприємстві.

Сьогодні існують кілька моделей розгортання мережі ВКЗ:

- Інвестування в побудову власної мережі ВКЗ.
- Модель «Відео-конференц-зв'язок як послуга».
- Гібридна модель. Коли частина функцій винесена в зону відповідальності

Оператора послуг ВКЗ.

Перед визначенням моделі розгортання, необхідно розуміти, що побудова мережі ВКЗ є комплексним проектом, що містить у собі наступні складові:

Канали

Організація мережної зв'язності між філіями компанії, каналами з необхідними параметрами швидкості і якості для пропуску критичного до затримок відеотрафіку від прикінцевих пристроїв(відеотерміналів).

«Широка смуга» для відеосервера

У рамках проектування каналної складової, необхідно передбачити в місці (філії) розташування відеосервера забезпечення широкої каналної смуги для агрегації відеотрафіку від всіх відеоточок філій.

ЦОД

Виділення приміщення з необхідними параметрами по електриці, заземленню й ін. для розміщення встаткування ядра мережі ВКЗ.

Устаткування ядра мережі ВКЗ

Покупка, проектування, монтаж і пуско-налагодження встаткування ядра мережі відео-конференц-зв'язку, включаючи відеосервера, сервера керування, моніторингу, запису, реєстрації прикінцевих пристроїв. Також, для отказоустойчивости рішення, необхідно передбачити резервування системи.

Співробітники

Найм штату дефіцитних фахівців для обслуговування ядра мережі ВКЗ і створення служби тех.підтримки користувачів Найм штату фахівців для обслуговування відеотерміналів у філіях компанії.

Прикінцеві точки

Покупка й, при необхідності, проектування, монтаж і пусконалагодження відеотерміналів і програмних клієнтів.

Порівняння способів організації Мережі ВКЗ

З огляду на вищесказане, можна зробити наступні висновки на вибір моделі розгортання мережі ВКЗ: Якщо підприємство вирішує інвестувати у власну мережу ВКЗ, то потрібно бути готовим до чималих витрат в устаткування інфраструктури. Потрібно приділити особлива увага питанням нарощування компетенцій обслуговуючого персоналу, керування й аудита системи ВКЗ. Якщо всі ці завдання здійсненні й компанія має необхідний бюджет, то можна бути впевненим, що модель буде успішна, тому що в першу чергу володіння всією інфраструктурою ВКЗ забезпечує підприємству відносно повну незалежність і безпеку від зовнішніх постачальників.

При виборі моделі «ВКЗ як Послуга» підприємство перекладе витрати по побудові, обслуговуванню й керуванню мережею відеоконференцій на оператора зв'язку, а також зменшить бюджет на непрофільні витрати. У цьому випадку підприємству не прийде інвестувати засобу в модернізацію через 2-3 роки й, якщо формат ВКЗ не буде користуватися попитом – відмовитися від послуги, тим самим заощадивши засобу. Звичайно, всі

перераховані переваги моделі виконуються залежно від пропозиції й гарантій провайдеру послуг ВКЗ.

Гібридна модель повинна бути цікава Замовникам у яких уже розгорнута мережа ВКЗ і вона вимагає посилення. У цьому випадку підприємство зберігає інвестиції у вже придбане встаткування й може «малою кров'ю» наростити необхідну потужність, не витрачаючи величезні засоби на дозакупівлю інфраструктури ВКЗ, а платячи тільки абонентську плату за оренду ресурсів в оператора ВКЗ. Успішність моделі також заздрості від пропозиції провайдеру ВКЗ

Розробка структурної схеми

Архітектури систем відео-конференц-зв'язку

Будь-яка система відео-конференц-зв'язку складається з:

- Терміналів ВКЗ – це можуть бути абсолютно будь-які пристрої, що підтримують передачу відео й аудіо: апаратні, мобільні, програмні, складні системи телеприсутності або навіть устаткування, убудоване в холодильник.
- Сервера ВКЗ, що необхідний для проведення групових відеоконференцій.
- Інфраструктури – канали зв'язку, пристрою для передачі даних, допоміжне устаткування, наприклад для трансляції й запису відеоконференції.
- Периферійного встаткування – спікерфони, мікшери, мікрофони, PTZ-камери.

Які типи відеоконференцій існують?

- Відеодзвінок – даний тип відео-конференц-зв'язку передбачає з'єднання між двома (не більше) абонентами, при цьому наявність ВКЗ-сервера необов'язково.
- Групова відеоконференція – сеанс багатоточечного відео-конференц-зв'язку при участі трьох і більше абонентів. Для того, щоб створити групову відеоконференцію, необхідна наявність сервера, що буде комутирувати дзвінки, а також передачу відео й аудіо даних. Такі групові відеоконференції можна розділити на симетричне й асиметричні (відеовіщання, селекторна нарада).

Архітектура сервера ВКЗ

Всі рішення діляться на дві групи:

- Апаратні рішення – звичайно перекоднують відеопотоки для кожного з учасників конференції, що вимагає багато процесорних ресурсів.
- Програмні рішення – не перекоднують відеопотоки, ресурси процесора витрачаються тільки на передачу даних.
- Апаратні рішення – для реалізації великої кількості обчислень їх часто будують на основі модулів з DSP-Процесорами, причому рішення дозволяють нарощувати потужність за рахунок збільшення кількості модулів. Такі рішення більше дорогі.
- Програмні ВКЗ-рішення – не вимагають перекодування відео, тому можуть бути побудовані на базі процесорів загального призначення, улаштовані набагато простіше й, отже, більше доступні.

Моделі впровадження ВКЗ системи

1. Виділене рішення. Вся інфраструктура належить і обслуговується замовником самостійно.
2. Хмарне рішення. Сервер ВКЗ десь в інтернеті. Термінали ВКЗ у мережі замовника.
3. Віддалене керування. Сервера й термінали замовника перебувають під контролем сервісу-провайдеру

Принципи роботи класичної системи апаратного сервера ВКЗ

MCU (сервер ВКЗ) приймає відеопотоки від кожного терміналу, декодує, мікшує в один потік, потім кожному терміналу кодує цей потік і відсилає.

Переваги й недоліки апаратних рішень

- Переваги:
- Економія каналів зв'язку.

- Відсутність проблеми «слабкого встаткування» за рахунок використання MCU і технології масштабованого відеокодування (SVC).

- Стандартизовані протоколи. Всі апаратні рішення створювалися за загальними стандартами й специфікаціям – за рахунок цього вони глибоко сумісні між собою. Як мінімум – аудіо й відео між різними пристроями завжди сумісні.

- Централізоване керування.

Недоліки:

- Вимагає кваліфікованої підтримки, тому що всі сучасні апаратні рішення досить складні й мають потребу в обслуговуванні висококваліфікованих і сертифікованих фахівців.

- Складності з масштабуванням. Вони виникають при обслуговуванні апаратної системи, коли з'являється потреба в збільшенні кількості серверів і користувачів.

- Складності з розширенням функціонала – інструменти спільної роботи, запис відеоконференцій. Для цього також необхідні додаткові модулі (“залізо”), що позначається на вартості системи ВКЗ.

Архітектура програмних рішень ВКЗ

Програмні рішення бувають різних типів:

- Клієнт-серверні: зв'язок між терміналами здійснюється через єдиний сервер. Це централізована система, має гарну керованість, висока надійність досягається дублюванням серверів. Недоліки – всі дані йдуть через єдину точку (сервер) і якість зв'язку залежить від того, де розташований сервер.

- P2P рішення (peer-to-peer, P2P – рівний до рівного). Децентралізована система, має високу надійність, але низкою керованістю. Трафік проходить по різних вузлах мережі й різні точки зв'язку (звичайно термінали). Недолік – якість зв'язки може мінятися від шляху проходження даних і залежить також від потужності вузлів.

- Гібридні – поєднує переваги обох систем. Трафік між терміналами йде або прямо між терміналами, або через сервер, залежно від аналізу каналів зв'язку.

Класична архітектура ВКЗ на основі ПЗ

Програмна платформа комутирує вхідні потоки від учасників, розмножує їх відповідно до кількості приймаючих учасників і відсилає кожному користувачеві.

Тобто, у симетричній груповій конференції з 4 учасниками користувач, що відправляє відео з дозволом 640x360 (SD – стандартний дозвіл), одержить у підсумку відео з дозволом $4 * (640 \times 360) = 1280 \times 720$ (HD – високої чіткості).

Користувач одержує максимальне значення – суму всіх дозволів учасників груповий ВКЗ.

Поліпшена архітектура ВКЗ без перекодування на основі ПЗ

За рахунок використання технології масштабованого відеокодування (SVC), кожен учасник зможе одержати картинку, адаптовану під його термінал. Так наприклад, якщо термінал – це телефон з дозволом екрана 800x480, то дозвіл 1280x720 уже надлишково для нього й сервер зменшує дозволу потоків, що відсилаються, відео.

Такі рішення випускають уже сьогодні, принцип їхньої роботи полягає в тому, що термінали ВКЗ кодують відео спеціальним образом, так, що стислий потік можна розділити на декілька підпотоків різного дозволу або різної частоти кадрів без декодування відео. ВКЗ сервер виступає в ролі розподільника якості – “проріджує” потоки під умови, що змінюються, каналу або потужності терміналу вибираючи оптимальний на даний момент підпотік таким чином, щоб ні у вас, ні у ваших співрозмовників не виникало проблем у спілкуванні. В ідеалі, все це дозволяє на основі програмного рішення побудувати повну емуляцію апаратного MCU, тільки тут замість перекодування використовується проріджені пакети, що набагато ефективніше з погляду процесорних ресурсів.

Які клієнтські додатки бувають?

- Десктопні.
- Мобільні.
- Браузерні (WebRTC).

- Smart TV (домашні телевізори).

Переваги й недоліки програмних рішень

Переваги:

- Можлива побудова сервера на базі процесорів загального призначення й стандартних серверів.
- Швидкість впровадження.
- Можливість тестування.
- Легка розширюваність.
- Можливість модернізації інтерфейсу/функціонала.
- Можливість використання моделі SaaS (зовнішній сервер).
- Використання вже наявних пристроїв
- Відсутність проблеми «слабкого встаткування» – за рахунок використання SVC.
- Легко масштабується – все залежить від ширини каналу на сервері.
- Весь функціонал уже на борті.

Недоліки:

- Як термінали ВКЗ використовуються звичайні ПК.
- Периферійне встаткування потрібно здобувати окремо.

Виходячи з усього вищенаведеного на рисунку 1 зображена структурна схема системи.

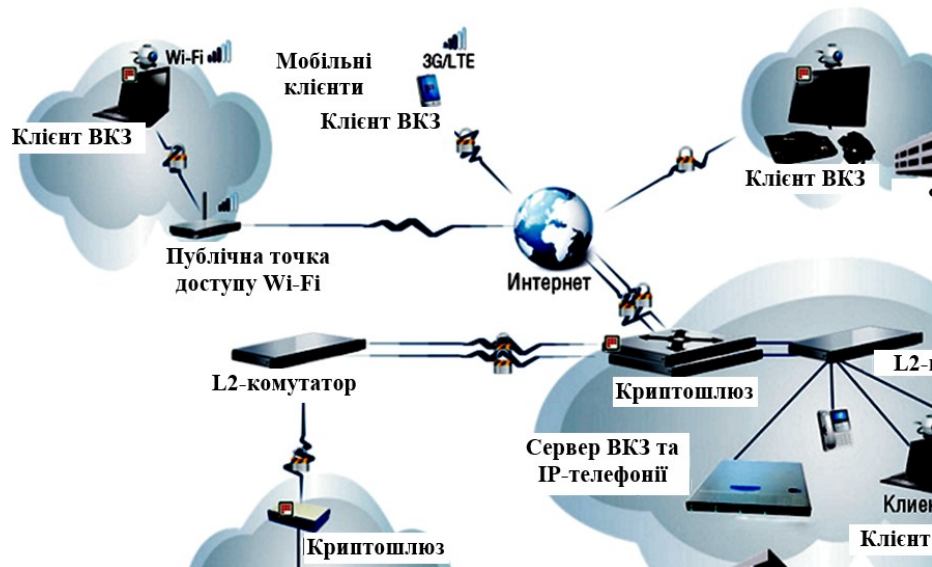


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.
- Досліджена система відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання відео-конференц-зв'язку на основі серверів MCU. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Kuznetsov, O., Frontoni, E., Kryvinska, N., Chevardin, V., Smirnov, O. «Wireless Network Encryption Stream Ciphers, Computational Modeling, and Security Analysis». *Computational Modeling and Simulation of Advanced Wireless Communication Systems*, 2024, pp. 379–402.
2. Kuznetsov, O., Frontoni, E., Kryvinska, N., Smirnov, O., Imoize, G.L. «Computational Modeling of Enhanced Spread Spectrum Codes for Asynchronous Wireless Communication». *Computational Modeling and Simulation of Advanced Wireless Communication Systems*, 2024, pp. 403–447.
3. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.
4. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchey, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
5. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.
6. Smirnov, O., Neskoriadiya, T., Fedorov, E., Rudakov, K., Neskoriadiya, A. «Method Detection Audit Data Anomalies on Basis Restricted Cauchy Machine» *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3187, 2022,
7. Smirnov O., Smirnova T., Anas M. Al-Oraiqat, Drieiev O., Polishchuk L., Sheraz Khan, Yassin M. Y. Hasan, Aladdein M. Amro, Hazim S. AlRawashdeh «Method for Determining Treated Metal Surface Quality Using Computer Vision Technology». *Sensors (Basel, Switzerland)* Volume 22, Issue 16, 6223, 2022.
8. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». *SN Computer Science*, Vol 2, 337, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w>
9. Smirnov O., Kuznetsov A., Zhora V., Onikiychuk A., Pieshkova O. «Hiding Messages in Audio Files Using Direct Spread Spectrum». *11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021, Cracow, Poland, 22-25 September 2021*. P. 414-418.
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Lokotkova I., Kuznetsova T., Florov S., Lebid O. «Using Orthogonal Signals to Hide Information in Images». *4 IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) – 2021, Lviv, Ukraine, September 21-25, 2021*. P. 255-260.
11. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». *International Journal of Computing*; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.
12. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
13. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». *Journal of theoretical and applied information technology* Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
14. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New technique for data hiding in cover images using adaptively generated pseudorandom sequences». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2654, 2020, Pages 1-14.
15. Smirnov O., Kuznetsov A., Onikiychuk A., Makushenko T., Anisimova O., Arischenko A. «Adaptive pseudorandom sequence generation for spread spectrum image steganography». *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 161-165.
16. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
17. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
18. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2616, 2020, Pages 366-379.
19. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Gorbacheva, L., Babenko, V., «Hiding data in images using a pseudo-random sequence», *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2608, 2020, Pages 646-660.
21. Zhurakovskiy, B., Tsopa, N., Batrak, Y., Odarchenko, R., Smirnova, T. «Comparative analysis of modern formats of lossy audio compression». *Workshop Proceedings*, 2020, 2654, стр. 315-327.
22. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019*. P.22-28.

23. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
24. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
25. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
26. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.