

УДК 004

В.Білоконенко, магістр гр. КІ-22М-2

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЛІЄНТСЬКОГО МОДУЛЯ ІНТЕРНЕТ-РАДІО

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

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток інтернет-радіо обумовлено широкими можливостями технології, що дозволяє ширококомовним радіостанціям не тільки істотно розширити свою аудиторію, але і якісно поліпшити надавані слухачам послуги. Інтернет-радіо має наступні основні переваги:

- Глобальний охопит. Зона віщання не обмежується, як у випадку з передачею по ефірі, радіусом дії ретранслятора. Доступ до трансльованої передачі може одержати користувач, підключений до мережі Інтернет у будь-якій крапці земної кулі.

- Висока якість звукового сигналу. Застосовувані програмно-технічні засоби дозволяють надійно доставляти сигнал без втрат у якості й завмирань (завмирання, фединг – зміна амплітуди й фази сигналу через переміщення передавача або приймача в системі радіозв'язку й/або поширення сигналу через неоднорідне середовище).

- Мультимедійний супровід. Трансляція звукового сигналу (наприклад, музичної композиції) може супроводжуватися передачею алфавітно-цифрової або графічної інформації.

- Зворотний зв'язок зі слухачем. Простий і зручний зв'язок може бути організована по Інтернету у вигляді голосового спілкування або обміну повідомленнями в процесі віщання.

Перераховані можливості дозволяють організувати віщання з урахуванням переваг слухачів (сформувати постійну аудиторію по інтересах), підсилити сприйняття трансльованих звукових програм за рахунок мультимедійного супроводу, забезпечити необхідна якість трансляції незалежно від місця прийому сигналу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи клієнтського модуля інтернет-радіо.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи клієнтського модуля Інтернет-радіо.

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

- Огляд існуючих систем клієнтського модуля Інтернет-радіо.
- Дослідження системи клієнтського модуля Інтернет-радіо.
- Програмна реалізація системи клієнтського модуля Інтернет-радіо.

Об'єктом дослідження є процес клієнтського модуля Інтернет-радіо.

Предметом дослідження є методи клієнтського модуля Інтернет-радіо.

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

Виклад основного матеріалу. Протоколи Інтернет-радіо. Стек протоколів H.323 є одним з найпоширеніших на сьогодні. Це найстарший і найбільш стабільний із всіх використовуваних зараз протоколів, тому він вимагає особливої уваги.

Протокол ініціації сесій (SIP) – це відносно новий протокол, що одержує широке поширення. Він є значно більше молодим відносно H.323 і тому поки не одержав такого ж масштабного поширення.

Протокол MGCP – це керуючий Інтернет-радіо-протокол, що найбільше часто використовується для керування шлюзами в Інтернет-радіо-мережі.

Відносно новий протокол MGCP одержав широке поширення як частина архітектури Cisco AVVID.

AVVID звичайно використовує саме MGCP у зв'язуванні з ССМ для керування шлюзами.

H.323

Як уже говорилося, H.323 є набором протоколів. Всі пристрої, використовувані H.323, можна поділити на чотири категорії: термінали, шлюзи, гейткіпери (Gatekeeper – гейткіпер) і точки багатопунктового контролю (Multipoint Control Unit – MTU).

Термінали, також називані кінцевими точками (endpoints), надають користувальницький інтерфейс до протоколу H.323 і забезпечують двосторонній мультимедійний зв'язок реального часу. Шлюзи виконують роль "перекладачів" для забезпечення взаємодії між H.323 і не-H.323 сутностями. Шлюзи, так само як і термінали, розглядаються як кінцеві точки. Гейткіпери виконують функції контролю викликів, такі як трансляція адрес і керування займаною смугою пропускання. Гейткіпери можна вважати найбільш важливим компонентом у стеці H.323. MCU забезпечують можливість конференцій.

Стек протоколів H.323

H.225

H.225 забезпечує встановлення й контроль викликів з усією необхідною сигналізацією для здійснення з'єднання між двома кінцевими точками.

H.245

Керуюча сигналізація H.245 застосовується для узгодження використання каналу й можливостей. Керуючі повідомлення несуть інформацію, що ставиться до наступних моментів:

- обмін інформацією про доступні можливості;
- відкривання й закривання логічного каналу, використовуваного для медійного потоку;
- повідомлення керування потоком;
- загальні команди.

Після встановлення виклику всі процеси передачі інформації проходять по логічних каналах.

RAS

RAS – це протокол, що використовується між кінцевими точками (терміналами й шлюзами) і гейткіперу. Він застосовується для здійснення реєстрації, контролю доступу, статусу й змін доступної смуги пропускання, а також для відключення кінцевих точок від гейткіперу. RAS використовує порт UDP 1719.

RTP

RTP надає наскрізний мережний транспорт для додатків, що передають дані реального часу. Він використовує для передачі даних протокол UDP. Передача даних супроводжується керуючим протоколом (RTCP) для моніторингу доставки даних.

Кодеки

Кодеки використовуються не тільки протоколом H.323, а всіма протоколами Інтернет-радіо для визначення алгоритмів компресії й декомпресії, застосовуваних для передачі аудіо/відео по мережі. H.323 підтримує більшість стандартів кодування аудіо й відео, включаючи G.7XX для аудіо й H.26X для відео.

Етапи з'єднання

Процедури з'єднання за протоколом H.323 можуть бути згруповані в п'ять етапів:

1. Виявлення й реєстрація.
2. Установлення виклику.
3. Сигнальний потік.
4. Медійний потік і потік керування.
5. Завершення виклику.

Виявлення й реєстрація пристроїв

На стадії виявлення й реєстрації гейткіпер ініціює процес "розвідування" для визначення гейткіперу, з яким кінцева точка повинна взаємодіяти. Це може бути зконфігуровано статично, або процес виявлення може відбуватися за допомогою багатоадресних повідомлень. Після виявлення термінал або шлюз реєструється на заданому гейткіпері.

Реєстрація використовується кінцевою точкою для визначення зони, з якої вона може бути асоційована. Зона – це набір компонентів, керованих одним гейткіпером. Після визначення зони гейткіпер інформується про адресу зони.

Внутрішні виклики

Допустимо, шлюзи (термінали) уже зареєстровані, і шлюз X хоче зробити виклик на термінал, підключений до шлюзу Y. Шлюз X посилає ARQ (Admission Request) повідомлення гейткіперу, запитуючи дозвіл на встановлення виклику на телефон, що обслуговується шлюзом Y. Гейткіпер дозволяє виклик з вимогою сигналізації (дозвону) прямо, посылаючи повідомлення ACF (Admission Confirmation).

Міжзональні виклики

Допустимо, гейткіпер A контролює зону A, а гейткіпер B – зону B, шлюз X зареєстрований на гейткіпері A, а шлюз Y – на гейткіпері B, і шлюз A хоче встановити з'єднання з терміналом, підключеним до шлюзу Y.

Процес установлення виклику містить наступні етапи (рисунок 2.8).

1. Шлюз X запитує з'єднання зі шлюзом Y у свого локального гейткіперу.
2. Запит місця розташування (LRQ – Location request). Гейткіпер шлюзу X не знає IP-адресу шлюзу Y і запитує адресу в гейткіперу шлюзу Y.
3. Місце розташування підтвержене (LCF – Location confirm). Гейткіпер шлюзу Y відповідає IP-адресою шлюзу Y.
4. Гейткіпер шлюзу X підтверджує його запит і надає йому IP-адресу шлюзу Y.
5. Установлення з'єднання між шлюзами.

Установлення з'єднання

На етапі встановлення з'єднання шлюзи взаємодіють прямо. Альтернативний метод установлення з'єднання – це гейткіпер-маршрутизуєма сигналізація, при якій всі повідомлення по установці з'єднання проходять через гейткіпер.

Установлення з'єднання засноване на протоколі ITU-Q.931 (H.225 є підмножиною Q.931), що визначає метод установлення, обробки й завершення мережного з'єднання по цифровій мережі ISDN. Процес складається із шести фаз:

1. Шлюз X посилає H.225 повідомлення встановлення дозвону для запиту з'єднання.
2. Шлюз Y посилає обернено H.225 повідомлення, заявляючи про можливість продовження процесу.
3. Шлюз Y запитує в гейткіперу правомірність дзвінка, посылаючи йому RAS-повідомлення (ARQ) по каналі RAS.

4. Гейткіпер підтверджує, що дзвінок правомірний, посылаючи шлюзу Y ACF-повідомлення.

5. Шлюз Y посилає H.225-повідомлення шлюзу X, сповіщаючи його, що з'єднання встановлене.

6. Шлюз Y посилає H.225-повідомлення шлюзу X, сповіщаючи його, що виклик установлений.

Установлення логічних каналів

Після того як з'єднання встановлене, взаємодія відбувається по логічних каналах. H.245 використовується для визначення процесу керування цими каналами. На один виклик може доводитися кілька каналів для різних типів трафіку (відео, аудіо, дані). H.245 LCSE (Local Channel Signaling Entity) відкриває логічний канал для кожного потоку. Канали можуть бути як односпрямованими, так і двонаправленими.

Установлення логічних каналів відбувається в такий спосіб:

1. Шлюз X повідомляє шлюзу Y, які можливості він підтримує, посылаючи H.245 Terminal Capability Set повідомлення.

2. Шлюз Y підтверджує запит, посылаючи H.245 Terminal Capability Set Acknowledge повідомлення.

3. Аналогічний п.1, але тільки у зворотному напрямку.

4. Аналогічний п.2, але тільки у зворотному напрямку.

5. Шлюз X відкриває медіаканал зі шлюзом Y, посылаючи H.245 повідомлення Open Logical Channel, включаючи адресу RTCP каналу.

6. Шлюз Y підтверджує встановлення логічного каналу зі шлюзом X, посылаючи H.245-повідомлення Open Logical Channel Acknowledge, включаючи RTP-адресу, виділена шлюзом Y, і RTCP-адресу, отримана від шлюзу X.

7. Аналогічний п.5, але тільки у зворотному напрямку.

8. Аналогічний п.6, але тільки у зворотному напрямку.

Медійний потік і потік керування

Медійний потік управляється RTCP. RTCP використовує виділений логічний канал для кожного RTP-потoku. Кінцеві точки можуть спробувати змінити виділену смугу пропускання, що вони споконвічно запросили. Для збільшення виділеної смуги пропускання кінцеві точки повинні запросити на цей дозвіл у гейткіперу.

Завершення виклику зупиняє медіапоток і закриває логічні канали. Воно може бути запитане як кінцевими точками, так і гейткіпером. Завершення виклику також завершує H.245-сесію, звільняє H.225/Q.931 з'єднання й надає гейткіперу підтвердження про роз'єднання по RAS.

Сигналізація між кінцевими точками без посередника в H.323

Якщо шлюзи знають IP-адреси один одного, то можливо їхня взаємодія без гейткіперу. Цей процес можна описати наступними кроками:

1. Шлюз ініціює H.225.0-сесію зі шлюзом призначення.

2. Процедура встановлення виклику, що базується на Q.931, створює сигнальний канал між кінцевими точками.

3. Кінцеві точки відкривають канал для функцій керування H.245. Відбувається обмін можливостями й дескрипторами логічних каналів.

4. Відкривається RTP-сесія.

MGCP

Протокол MGCP являє собою приклад моделі із централізованим керуванням викликами. Він визначає керування телефонними шлюзами із центрального керуючого компонента, називаного телефонним агентом (Call Agent). Шлюзи взаємодіють із агентами, які здійснюють сигналізацію й обробку викликів.

Компоненти MGCP

В MGCP-оточенні використовуються наступні компоненти:

–кінцеві точки;

- шлюзи;
- агент.

Кінцеві точки – це точки з'єднання пакетної мережі. Вони можуть бути фізичними й логічними. Шлюзи – це вузли об'єднання кінцевих точок.

Агент MGC (Media Gateway Controller) являє собою центральний керуючий елемент в MGCP-оточенні. MGC здійснює керування діяльністю шлюзів у припущенні, що шлюзи фіксують події й доповідають про їх. Агент, ґрунтуючись на подіях, інструктує шлюзи про дії, які необхідно вживати. Він також ініціює всі Інтернет-радіо-етапи з'єднання.

Поняття MGCP

Базові поняття MGCP:

- Виклики й з'єднання. Дозволяють установлювати наскрізні з'єднання двох і більше кінцевих точок.
- Події й сигнали. Дозволяють телефонним агентам інструктувати шлюзи.
- Цифрові карти й пакети. Дозволяють шлюзам визначати пункт призначення викликів.

Взаємодія агентів і шлюзів

Процес взаємодії телефонного агента зі шлюзами для забезпечення телефонного виклику можна описати наступною послідовністю дій.

1. Агент направляє повідомлення RQNT (Request Notification) кожному шлюзу. Цей запит дає інструкцію шлюзам чекати події off-hook і дати гудок, коли така подія відбудеться. Агент також повідомляє про необхідність моніторингу інших подій. Надаючи цифрову карту в запиті, агент дозволяє шлюзам зібрати цифри перед тим як інформувати про подію агента.

2. Шлюз відповідає на запит. Із цього моменту агент і шлюзи чекають подій.

3. Шлюз А посилає оповіщення (NTFY) агентові, повідомляючи його, що необхідна подія відбулася.

4. Після підтвердження можливості агент інструктує шлюз А створити з'єднання (CRCX) з його кінцевою точкою.

5. Шлюз відповідає дескриптором сесії. Дескриптор визначає, як мінімум, IP-адресу й UDP-порт для наступної RTP-сесії. Шлюз не має дескриптора сесії віддаленої сторони, і з'єднання переходить у режим очікування.

6. Агент відправляє запит на з'єднання шлюзу В. У запиті агент надає дескриптор сесії, що він одержав від шлюзу А. Агент також посилає інструкції про те, які в цей момент події важливі і які сигнали шлюзу генерувати. У цьому випадку такою подією є off-hook, сигналом – дзвінок.

7. Шлюз В відповідає на запит і повідомляє свій дескриптор сесії.

8. Агент передає дескриптор сесії шлюзу А в запиті MDCX (Modify Connection). Тепер шлюзи можуть установити RTP-сесії для передачі голосу.

9. Наприкінці виклику одна з кінцевих точок розпізнає перехід у стан on-hook. Допустимо, це трапилося на шлюзі А. Тому що агент проінструктував повідомити про таку подію, шлюз А посилає агентові повідомлення.

10. Агент розсилає повідомлення DLCX (Delete Connection) кожному шлюзу.

11. Шлюзи видаляють з'єднання й відповідають.

Розробка структурної схеми

Типова система передачі поточкових аудіоданих інтернет-радіостанції складається із трьох базових елементів:

- станції;
- сервера (повторювача);
- клієнта.

Структурна схема інтернет-радіо представлена на рисунку 3.1.

Функціонування сервера й клієнта інтернет-радіо забезпечується типовими програмно-технічними засобами, тому нижче розглядаються тільки питання організації

роботи станції інтернет-радіо як найбільш складного й відповідального компонента. Крім потоку звукових даних, станція передає текстові метадані – наприклад, інформацію про себе саму й про поточну композицію, що пропонується для прослуховування клієнтів.

Дане рішення забезпечує висока якість віщання по відносно ненадійних каналах зв'язку й розраховано на професійні студії, використовувані ширококомовними радіостанціями, хоча з його допомогою організувати трансляцію можуть і індивідуальні користувачі.

Перетворення аудіосигналу для його передачі на адресу сервера за IP-каналом виробляється за допомогою аудіокодеку Instreamer, до якого можуть підключатися різні джерела сигналу, включаючи мікрофон і аудіопрогравач. Аудіодані, що надходять від сервера, перетворюються за допомогою аудіокодеку Exstreamer і виводяться на навушники або гучномовець. Паралельно вони можуть записуватися в цифровому або аналоговому виді на відповідний пристрій.

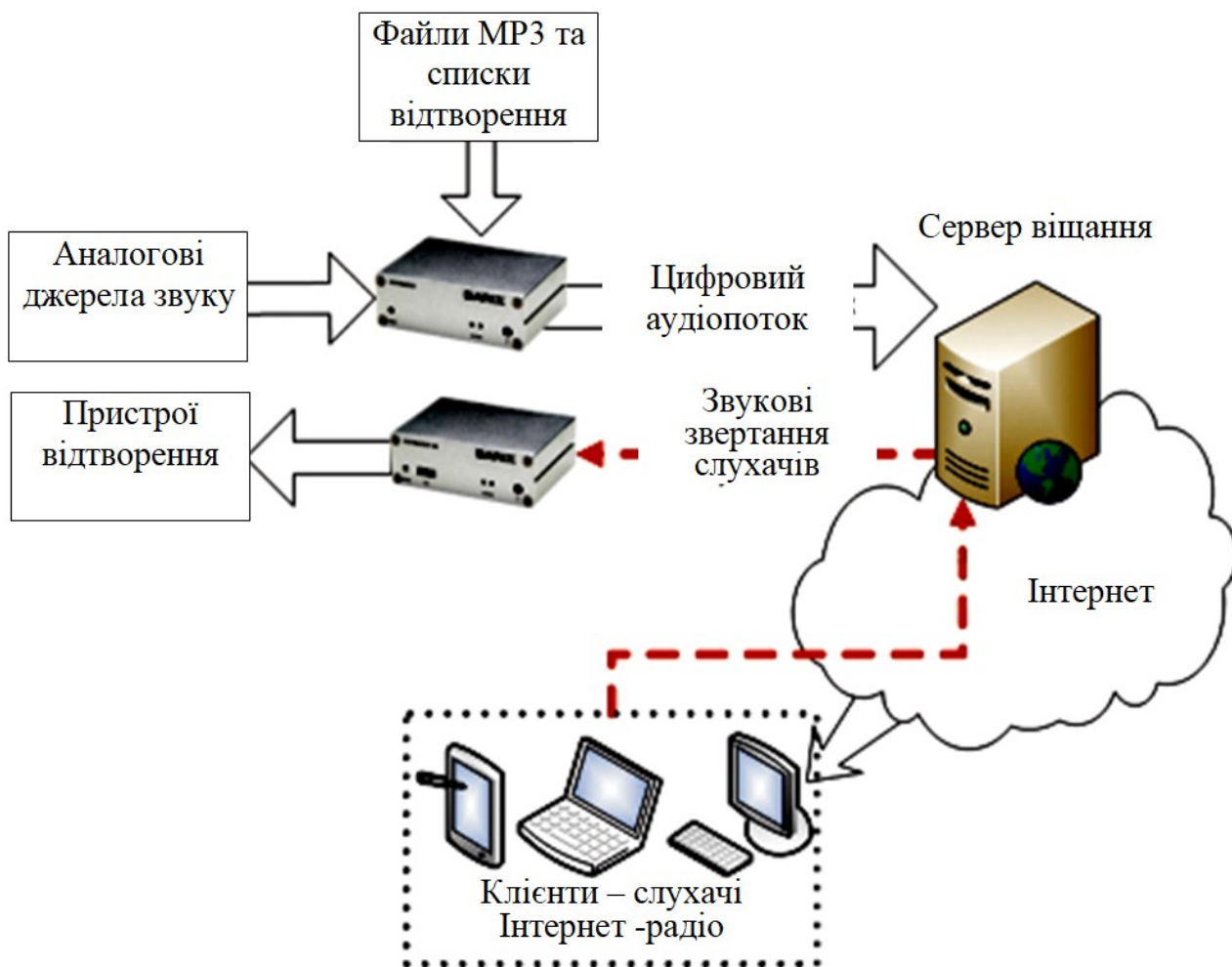


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Статистичний аналіз роботи інтернет-радіо здійснюється з використанням відповідних програм на вхідному в його состав комп'ютері, а стандартні можливості застосовуваних пристроїв можна розширити за допомогою високорівневого мови програмування Audio Varix Control Language, що дозволяє писати додатка для різних аудіокодеків.

Аудіокодек Instreamer являє собою багатопрокольний перетворювач високоякісних звукових стереосигналів у потік цифрових даних, переданих по мережах IP. Він підтримує формати аудіоданих MP3, PCM, G.711 і G.722, які транслюються в цифрових форматах TCP, UDP, Shoutcast/Icecast і Multicast RTP; забезпечує передачу поточних звукових сигналів з мінімальною затримкою, що гарантує високу якість звуку; має функцію трансляції музики у

фоновому режимі й тимчасовій зупинці музичної трансляції для реалізації додатків IP-телефонії.

Аудіокодек Exstreamer являє собою багатопроTOCOLЬНИЙ перетворювач IP-поток аудіоданих у форматах TCP, UDP і Multicast RTP у звуковий сигнал для його виводу на навушники, гучномовець або підсилювач у форматах AACplus, MP3, Ogg Vorbis, G.711, PCM (лінійне декодування). Перетворювачі, що випускаються, адаптовані для роботи з різними зовнішніми пристроями в заданих конфігураціях. Вони можуть використовуватися як приймач і програвач інтернет-радіо, мати рознімання для карти пам'яті стандарту MicroSD або інтерфейс USB для підключення зовнішньої флеш-пам'яті.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів клієнтського модуля Інтернет-радіо. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем клієнтського модуля Інтернет-радіо; Досліджена система клієнтського модуля Інтернет-радіо; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи клієнтського модуля Інтернет-радіо. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання клієнтського модуля Інтернет-радіо. 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. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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,
5. Smirnov O., Smirnova T., Anas M. Al-Oraiqat, Driev O., Polishchuk L., Sheroz 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.
6. 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>
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
11. 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.
12. 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.
13. Smirnov O., Kuznetsov A., Onikiychuk A., Makushenko T., Anisimova O., Arischenko A. «Adaptive pseudo-random 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.
14. 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.
15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. 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.
 21. 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.