

УДК 004

А.Дудзінський, магістр гр. КІ-23М

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РЕАЛІЗАЦІЇ AVB-ТЕХНОЛОГІЇ У МЕРЕЖІ

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

Постановка проблеми. Audio Video Bridging дозволяє усунути потенційні проблеми при перекладі професійного аудіо-відео контенту (AB-контенту) в мережу Ethernet. Процес переходу на комп'ютерні технології торкнути практично весь медіаринок. За останні кілька десятиліть від традиційної телефонії майже нічого не залишилося. Лише в деяких будинках ще збереглася проводка у вигляді «локшини», але на всіх магістральних каналах провайдери якщо не перейшли, то активно здійснюють перехід на VoIP. Аналогічний процес спостерігається й у сфері телебачення – всі частіше ця послуга надається як IP-TV через Інтернет, по мережах Ethernet і IP, що відкриває доступ до більше різноманітного контенту.

Те ж відбувається й з відеоспостереженням. Колись для цього будувалися окремі мережі й інфраструктура. Тепер повсюдно використовуються IP-відеокамери, а сигнал від них передається по комп'ютерній мережі на записуючий і відтворюючий пристрій. Чому ж настільки популярний перехід із пропріетарних, закритих технологій на Ethernet? Причина в уніфікації. А що дає уніфікація? Відповідь проста – економію.

Одна перспективна область, де перехід на використання комп'ютерної мережі ще не відбувся, – це професійні аудіовідеосистеми. У них застосовуються досить закриті технології, власні протоколи й, природно, спеціалізована інфраструктура. Крім студій звукозапису, ці системи розгортаються на більших об'єктах, де необхідно встановити встаткування для звукового оповіщення, доставки контенту, показу відео. Мова йде про стадіони, концертні комплекси, конференц-зали, парках, готелях, аеропортах і студіях віщання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи реалізації AVB-технології у мережі.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи реалізації AVB-технології у мережі.

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

- Огляд існуючих систем реалізації AVB-технології у мережі.
 - Дослідження системи реалізації AVB-технології у мережі.
 - Програмна реалізація системи реалізації AVB-технології у мережі.
- Об'єктом дослідження є процес реалізації AVB-технології у мережі.

Предметом дослідження є методи реалізації AVB-технології у мережі.

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

Виклад основного матеріалу. Синхронізація

У великому приміщенні, наприклад у концертному залі, колонки, що відтворюють звук, перебувають у різних його частинах, і тому виникає проблема синхронізації. Необхідно зробити так, щоб звук у ці колонки надходив у те саме час, інакше та, що перебуває ближче до джерела, буде відтворювати його раніше, ніж розташована, скажемо, за трьома комутаторами, кожний з яких вносить певну затримку при проходженні сигналу. Одночасність відтворення забезпечує протокол синхронізації.

Як він працює? По-перше, всі пристрої обмінюються певними пакетами, перевіряючи, що кожне з них підтримує протокол 802.1AS (це стосується всіх пристроїв, сертифікованих по стандарті AVB). Далі, автоматично або шляхом налаштування вручну, у мережі вибирається так званий гранд-майстер, що стає єдиним і самим головним еталоном часу в мережі. Це може бути будь-який мережний пристрій, у цьому випадку ми вибрали Віамп Tesira. Воно може «брати» час як з мережі (з будь-якого мережного пристрою по протоколі NTP), так і від якогось зовнішнього джерела (наприклад, від установлених рядом атомних годин).

Цей гранд-майстер повідомляє всі інші пристрої, скільки зараз часу, при цьому протокол ураховує, що пакети, що йдуть до конкретного експандера, передаються по конкретному шляху. Кожний пристрій AVB на шляху проходження пакета записує в пакеті 802.1AS внесену їм затримку: умовно говорячи, комутатор указує, що на вхідному інтерфейсі 100 Мбіт/с така-те затримка, при проходженні трафіку між двома його портами затримка така-то, на вихідному гігабітному інтерфейсі, відповідно, затримка така-то. Всі затримки підсумуються й відбиваються в пакеті 802.1AS. Таким чином, у пакеті, що надійшов на кінцевий пристрій, утримується фактична затримка при передачі по мережі.

Як бачимо, пристрою не тільки синхронізують годинники й одержують інформацію про точний час, але й визначають затримку, внесену будь-якими мережними вузлами. Знаючи точний час і величину затримки на кожному етапі, можна розрахувати так званий презентаційний час, коли повинен бути відтворений сигнал на всіх одержувачах. Воно визначається виходячи із самого гіршого варіанта проходження сигналу від джерела до пристрою відтворення. Відповідно, звук з гітари відправляється на далеку колонку раніше, ніж на ближню, тому на обидві колонки він приходить одночасно.

Це одне із самих головних досягнень групи стандартів AVB: забезпечення синхронізації за часом у мережі Ethernet при передбачуваних затримках, завдяки чому досягається синхронне відтворення звуку й відео.

Резервування потоків

Що відбувається після визначення затримок у мережі? Коли оператор АВ-системи вказує, що звук від гітари й барабанів повинен надходити на обидві колонки, сервер керування інформує відповідні експандери про те, що їм потрібно передавати звук такому-то й такому-то кінцевому встаткуванню (його експандерам). Потім у дію вступає протокол резервування потоків (Stream Reservation Protocol, SRP).

Відповідно до протоколу, кожне джерело звуку надсилає запит, що називається Talker Advertise – дослівно «оголошення мовця». У відповідь експандери, яким ці потоки призначаються, відправляють повідомлення про готовність Listener ready. Воно знову проходить весь шлях по мережі до первісних експандерів, звідки береться звук. Мережні комутатори відслідковують всі чинені дії й при зворотному проходженні пакетів з інформацією про готовність слухачів кожний з них резервує необхідну пропускну здатність для даного конкретного потоку.

Це одне з найважливіших додавань у стандарт, тому що воно дозволяє гарантувати смугу для трафіку. Причому мова йде не про гарантію засобами QoS, а про тверде виділення

необхідної пропускної здатності. До 75% пропускної здатності інтерфейсу може бути віддане під AVB, а 25% залишено для іншого трафіку, щоб AVB не займав весь канал.

Якщо смуги не вистачає, наприклад, комутатор уже й так обслуговує досить багато потоків AVB на певному інтерфейсі, то цей комутатор пошле спеціальне повідомлення в обидва боки про неможливість організувати потік.

У даному прикладі аудіопотоки йдуть прямо від джерел до пристроїв відтворення, але на практиці вони, швидше за все, будуть проходити через систему мікшування.

Зіткнення пріоритетів

Якщо який-небудь користувач починає завантажувати з Інтернету файл великого обсягу й завантаження займає значну пропускну здатність якого-небудь інтерфейсу, то смугу, виділену для потоків AVB, цей трафік не зможе використовувати. Однак при перегляді, наприклад, потокового відео або у випадку проведення ресурсномісткої телеконференції конкуруючий за смугу трафік теж має високий пріоритет.

Відповідно, комутатор з підтримкою DiffServ буде намагатися відправити й потік AVB, і потік IP-TV якнайшвидше, з тим самим пріоритетом. Відсутність розподілу відправлення пакета в часі може привести до переповнення буферів. Щоб цього не відбувалося, у рамках групи стандартів AVB прийнятий ще один стандарт – FQTSS.

Він забезпечує свого роду формування трафіку (shaping), але не зовсім звичайне – на основі кредитних буферів. FQTSS розподіляє пакети за часом, тобто забезпечує рівномірний, плавний потік пакетів AVB, що виключає виникнення різниці в затримці, дозволяючи уникнути джиттера.

Розробка структурної схеми

Налаштування AVB на комутаторах

AVB споконвічно створювався таким чином, щоб для його підтримки було потрібно внести лише мінімальні зміни в стандарт Ethernet, у пристрої, що беруть участь в організації мережі Ethernet, і в налаштування встаткування.

Формально, для того щоб настроїти AVB на комутаторах, необхідно виконати налаштування наступних компонентів:

- VLAN;
- протоколу резервування смуги;
- шейпінга;
- синхронізації й т.д.

На перший погляд, це складно, але на комутаторах Extreme Networks протокол AVB настроюється однією командою `enable AVB ports all`, за якої ховається багато внутрішніх команд, тобто це якась автоналаштування, що дозволяє комутатору самостійно здійснювати синхронізацію, резервування пропускної здатності й інші дії.

Щоб комутатор Ethernet міг підтримувати AVB, у ньому повинна бути реалізована апаратна й програмна підтримка. У комутаторах Extreme апаратна підтримка забезпечується встановленими в них чип-сетами, а програмна – операційною системою. У цей час Extreme Networks – єдина компанія, що випускає комутатори корпоративного рівня з підтримкою AVB і одночасно POE і POE+. Для використання AVB ніяких додаткових ліцензій здобувати не потрібно.

POE й POE+ потрібні для живлення експандерів, тому що колонки, мікрофони й інші системи можуть розташовуватися де завгодно. У величезному концертному залі колонка може перебувати досить далеко від розетки, і її підключення до мережі Ethernet через експандер вимагає підведення до нього електрики. Щоб спростити інфраструктуру, у тому числі електричну, для живлення таких пристроїв краще задіяти POE.

У цей час AVB підтримується фіксованими комутаторами серій 440 (комутатори початкового рівня для доступу), 460 (комутатор рівня агрегації) і X-670 (48-портовий комутатор з можливістю установки портів 40 Gigabit Ethernet). Найближчим часом буде реалізована підтримка AVB у комутаторах Black Diamond X-8.

Планування мережі

Що входить до складу готового рішення? Насамперед потрібні комутатори з підтримкою AVB і пристроєм для конвертації звуку (для цифрового або аналогового форматів) в Ethernet з підтримкою AVB. При цьому протоколи AVB повинні підтримуватися кожним задіяним пристроєм, тобто потрібна наскрізна підтримка AVB. У кожному разі потрібне грамотне планування всієї мережі.

Залежно від розв'язуваних завдань необхідно розрахувати кількість потоків і необхідну пропускну здатність. Так, на один звуковий канал (моно) потрібно близько 6 Мбіт/с, якщо це незжати звук. Знаючи кількість потоків, можна визначити, які з'єднання будуть потрібні (100 Мбіт/с, 1, 10, 40 Гбіт/с).

Якщо, наприклад, у мережі є 100 пристроїв, на яких необхідно відтворювати той самий контент, і на кожний пристрій направляти окремий потік, то ці потоки займуть всю доступну ємність. Однак, задіявши багатоадресне розсилання, можна на один потік підключити навіть 500 пристроїв.

Крім того, мережа Ethernet накладає обмеження на дальність передачі. У випадку мідної проводки вона становить 100 м, а щоб затримка не перевищувала 2 мс, у мережі не повинне бути більше 7 транзитних вузлів (для каналів 100 Мбіт/с). Коли в мережі використовуються гігабітні з'єднання, при тих же 7 транзитних вузлах затримка буде становити менш 1 мс.

У даній роботі пропонується використовувати технологію Audio Video Bridging для систем відеоспостереження.

Структура системи мережного відеоспостереження з використанням технології Audio Video Bridging (AVB):

- периферійне встаткування (відеокамери й тепловізори, відеокодери, відеореєстратори, кожухи й поворотні пристрої, прожектори);
- мережа передачі дані системи відеоспостереження (радіоканали, оптоволокну, кручена пара), активне й пасивне мережне встаткування (СКС, комутатори, маршрутизатори)
- серверне встаткування системи відеоспостереження (система зберігання інформації);
- програмне забезпечення для аналізу відеоінформації, керування камерами й роботи з відеоархівами;
- автоматизовані робочі місця інтегрованої системи відеоспостереження: центральний пункт спостереження й керування (ЦПСК), додаткові пункти спостереження й керування (ДПСК);

Устаткування системи відеоспостереження

Камери

Мережні камери можна класифікувати залежно від можливості їхнього використання усередині й поза приміщенням.

Мережні камери (як внутрішні, так і вуличні) підрозділяються на фіксовані, фіксовані купольні, PTZ-камери (поворотні з можливістю трансфокації) і купольні PTZ-камери.

Залежно від умов експлуатації камери забезпечуються захисними кожухами, що охороняють від впливу навколишнього середовища (пилу, вологи, опадів, високих і низьких температур), вандалізму або псування.

Також виділяють камери з підвищеною розв'язною здатністю – HDTV/мегапіксельні камери. Мегапіксельні мережні камери забезпечують дозвіл, як мінімум у три рази переважаючий дозвіл аналогових CCTV-камер.

До окремого класу мережних камер ставляться тепловізійні мережні камери. Завдяки роботі в інфрачервоному діапазоні випромінювання тепловізійні камери можуть працювати в повній темряві, без додаткового висвітлення в режимі цілодобового спостереження.

Виробники, що рекомендуються: AXIS, Sony.

Мережа передачі даних

Завдяки використанню мережних камер, мережна система відеоспостереження може бути легко інтегрована в існуючу мережну інфраструктуру порту при її наявності.

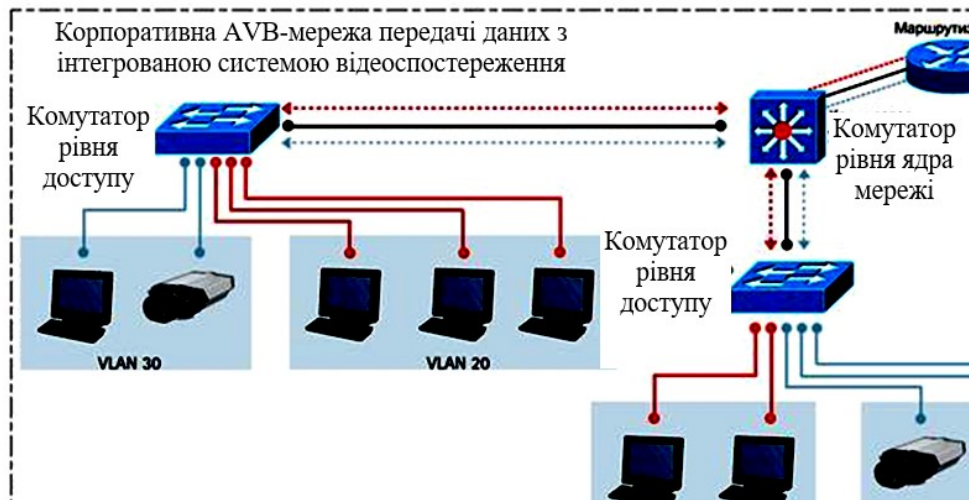


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Підключення мережної камери до мережі передачі даних може бути здійснене через: провідне підключення (кручена пари Ethernet, мідний кабель, оптичне волокно) або по бездротовому каналі передачі даних.

Сама мережа будується на основі комутаторів і маршрутизаторів, основними функціями яких є перенапрямок потоків даних у мережі, розмежування доступу до даних і поділ пристроїв, підключених до мережі, на групи.

Вибір фізичного середовища для підключення залежить від декількох факторів:

- розташування місця установки камери;
- можливості прокладки кабелю;
- відстані камери від найближчої можливої точки підключення до мережі (найближчого комутатора)
- вимоги до якості й розв'язної здатності зображення, одержуваного з камери (дозвіл, кількість кадрів у секунду).

Особливості підключення з використанням провідних технологій:

- Кабель кручена пари, стандарт IEEE 802.3 (Ethernet): максимальна довжина кабелю становить 100м; швидкість підключення 100/1000 Мбіт/с; є можливість забезпечення живлення камери через кабель передачі даних за технологією PoE. Перевага: висока швидкість передачі, дешевина технології. Недоліки: невелика дальність.

- Мідний кабель одна/дві пари проводів, стандарт SHDSL: максимальна довжина кабелю до 0,5км при швидкості 15 Мбіт/с і до 5 км при швидкості до 1Мбіт/с. Перевага: дешевина технології, більші дальності. Недоліки: швидкість сильно залежить від товщини провідників у мідній парі; необхідність використання додаткового встаткування (модемів).

- Багатомодовий оптоволоконний кабель 1000 BASE-SX: максимальна довжина кабелю становить 550 м швидкість підключення до 1000 Мбіт/с. Перевага: висока швидкість, більші дальності. Недоліки: трудомісткість прокладки, вартість, необхідність використання додаткового встаткування (медіаконверторів).

- Одномодовий оптоволоконний кабель 1000 BASE-LX: максимальна довжина кабелю становить 5 км швидкість підключення до 1000 Мбіт/с. Перевага: висока швидкість, більші дальності. Недоліки: трудомісткість прокладки, висока вартість робіт і кабелю, необхідність використання додаткового встаткування (медіаконверторів).

Особливості підключення з використанням бездротових каналів зв'язку:

Використання бездротових технологій для побудови систем охоронного відеоспостереження – це швидке, економічне й гнучке рішення при організації відео спостереження на великій площі, при цьому відпадає необхідність у прокладці кабелю. Також широкополосні бездротові канали даних є єдиною можливістю підключення камер до мережі передачі даних, де прокладка кабелів заборонена, утруднена або просто неможлива (переправи, мости, залізничні колії, захищені будинки й т.д.).

Бездротові системи широкополосного доступу, використовувані для побудови каналів зв'язку в системах відеоспостереження, повинні задовольняти наступним вимогам:

- Підтримка технології адаптивного маркерного доступу до радіосередовища (адаптивного поллінгу) по засобах організації дуплексних каналів зв'язку з тимчасовим поділом (TDD).

- Висока смуга пропускання й пакетна продуктивність.

- Стійкість системи до багатопробного перевідбиття сигналу в умовах складної портової забудови.

- Установка пріоритету передачі відеотрафіку (QoS).

- Можливість передачі безлічі відеопотоків по одному радіоз'єднанню.

- Можливість передачі відео Multicast-віщанням.

- Використання убудованих сучасних алгоритмів автентифікації, авторизації (WPA/WPA2) і шифрування трафіку (AES) для запобігання несанкціонованого доступу.

Виробники, що рекомендуються: Infinet Wireless, Proxim Wireless.

Система керування відеоспостереженням

Система керування відеоспостереженням складається з:

- Серверів керування.

- Мережного сховища.

- АРМ керування й моніторингу відеоспостереження.

- ПО для керування системою відеоспостереження.

Вибір параметрів серверів керування й визначення розмірів мережного сховища інформації залежить від наступних факторів:

- Кількість камер.

- Необхідність у безперервному записі або записі при виявленні події.

- Кількість годин у день, відведених для запису.

- Частота кадрів у секунду.

- Дозвіл зображення.

- Типи стиску відео: Motion JPEG, MPEG-4, H.264.

- Зона спостереження: складність зображення (наприклад, сіра стіна або ліс), висвітлення й кількість рухів (офіс або переповнена станція метро).

- Тривалість зберігання даних.

- Необхідності резервування.

- Кількості АРМ операторів відеоспостереження

Основним призначенням серверів з ПО керування системою відеоспостереження є:

- Запис відеозображення й звуку в реальному часі

- Аналіз і відтворення відеозображення

- Пошук і високошвидкісне перемотування відеоархіву

- Підтримка функцій відеоаналітики й керування подіями (адаптивний детектор об'єктів, детектор залишених предметів, детекція саботажу, детектори перетинання й напрямку, лічильник об'єктів по напрямку руху й лічильник об'єктів, що перетинають задану лінію)

- Гнучка система відображення інформації з великої кількості камер на моніторах АРМ операторів спостереження

- Інтеграція з іншими системами забезпечення безпеки морського порту (охоронно-пожежною сигналізацією, СКД і ін. промисловими системами).
- Підтримка стандарту ONVIF для адміністрування й керування широким набором периферійних IP-пристроїв;

Опис розподіленої мережної системи відеоспостереження

Периферійне встаткування підключається по радіоканалах, оптоволокну або кручений парі до мережі передачі дані системи відеоспостереження. Потоки відеоінформації з периферійного встаткування надходять на сервери керування відеоспостереженням через які інформація відправляється в мережне сховище даних.

Сервери керування підключені до Центрального пункту спостереження й керування через локальну мережу системи відеоспостереження (радіоканали, кручена пари, оптичний кабель). З будь-якого сервера можна бачити й локальні камери, і камери, підключені до інших серверів при наявності відповідних прав доступу.

Система відеоспостереження забезпечує безперервний відеозапис, відображення й відеодетекцію руху для кожної з підключених відеокамер. Перегляд відеоархіву здійснюється без переривання процесу запису.

При виявленні несанкціонованого проникнення на територію морського порту або виникнення позаштатної ситуації:

- включається система звукового або мовного оповіщення;
- автоматично передається сигнал тривоги й відеозображення з місця події групі швидкого реагування;
- автоматично передається сигнал тривоги відповідальним особам і відповідальному керівникові морського на стільниковий телефон по GSM/GPRS каналі.

Переваги

- Простота інтегрування з існуючими аналоговими системами відеоспостереження – існуючі аналогові камери підключаються до серверів через медіаконвертери.
- Створення додаткових інформаційних каналів морського порту: резервні канали мережі відеоспостереження можуть бути використані Замовником для розширення інформаційної мережі;
- Простота розширення системи: додаткові камери можуть бути підключені з мінімальними тимчасовими й працезатратами;
- Висока надійність системи: при порушенні зв'язку між локальними серверами, кожний сервер продовжує функціонувати в автономному режимі.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів реалізації AVB-технології у мережі. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем реалізації AVB-технології у мережі.
- Досліджена система реалізації AVB-технології у мережі.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи реалізації AVB-технології у мережі.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання реалізації AVB-технології у мережі. 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., Yenchov, 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., Neskorodieva, T., Fedorov, E., Rudakov, K., Neskorodieva, 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., Sherov 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.