

УДК 004

О.Рябошакко, магістр гр. КН-22МЗ,*Центральноукраїнський національний технічний університет*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДАНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ IMS

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

Постановка проблеми. Дані передаються постійно і практично всіма, хто має доступ до Інтернету. Велика кількість зображень і відео завантажуються в хмару та завантажуються з хмари щодня користувачами, компаніями, організаціями тощо для різноманітних цілей, включаючи розваги, рекламу та навчання. Час передачі зображення або відео може відрізнитися залежно від розміру носія. Однак час передачі також значною мірою залежить від типу мережі, що використовується. Якщо використовується мережа 4G, передавання медіа-файлів займає більше часу порівняно з передачею через мережу 5G. Це буде детально описано в розділі про мережі зв'язку. Тим не менш, медіа також мають власні вимоги до мережі, залежно від їх розміру, а також від природи медіа. Наприклад, якщо потрібно передати зображення, затримка передачі може бути неприємною, але це не вплине на перегляд отриманого зображення. Навпаки, якщо ми надсилаємо відео, яке є послідовністю стиснутих зображень, затримки в передачі цих зображень будуть введені затримки у відображенні відео під час потокової передачі відео користувачеві. Це значно вплине на якість досвіду користувача.

У разі тактильної передачі медіа проблема ще більш помітна. Дійсно, тактильні медіа складаються з невеликих за розміром блоків інформації, які мають передаватися з високою швидкістю. Це пов'язано з природою додатків, де тактильні дії відіграють важливу роль у взаємодії, як ми детально розглянемо в розділі про мультимодальну взаємодію. Отже, характеристики медіа, про які йде мова, є визначальними факторами, який тип мережі потрібен для успішної та своєчасної передачі мультимедіа.

Мультимедійна підсистема IP або IMS – це заснована на стандартах архітектурна структура для надання мультимедійних комунікаційних послуг, таких як голос, відео та текстові повідомлення через мережу IP. Специфікації IMS спочатку були створені 3rd Generation Partnership Project (3GPP) для стандартизації реалізації мобільних мереж наступного покоління [1]. Основою архітектури послуг для мереж наступного покоління є архітектура IMS (IP Multimedia Subsystem), стандартизована 3GPP (3rd Generation Partnership Project). IMS надає телекомунікаційним операторам можливість створювати відкриту інфраструктуру послуг на основі IP, що дозволяє легко розгортати нові багаті мультимедійні послуги, які поєднують телекомунікації та дані. Дизайн послуг IMS є ключовим питанням для ринку телекомунікацій. Послуги IMS, в основному, адаптовані до вподобань

користувача, засновані на кількох мережах безперервного доступу та наборах функцій послуг (наприклад, голосові/відео з'єднання, інструменти спільноти, присутність, конференція, ігри та трансляції). Архітектура та технічні аспекти архітектури IMS охоплюються органами стандартизації. Однак ці організації не надають чіткої моделі того, що таке послуга IMS (і чим вона не є).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи передачі мультимедійних даних за технологією ims.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи передачі мультимедійних даних за технологією IMS.

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

- Огляд існуючих систем передачі мультимедійних даних за технологією IMS.
- Дослідження системи передачі мультимедійних даних за технологією IMS.
- Програмна реалізація системи передачі мультимедійних даних за технологією

IMS.

Об'єктом дослідження є процес передачі мультимедійних даних за технологією IMS.

Предметом дослідження є методи передачі мультимедійних даних за технологією IMS.

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

Виклад основного матеріалу. IP Multimedia Subsystem або IMS – це заснована на стандартах архітектурна структура для надання мультимедійних комунікаційних послуг, таких як голос, відео та текстові повідомлення через IP-мережі. Специфікації IMS спочатку були створені Проектом партнерства третього покоління (3GPP) для стандартизації реалізації цих послуг у мобільних мережах наступного покоління.

Архітектура IP-мультимедійної підсистеми розбиває мережу на окремі прикладні, контрольні та транспортні рівні зі стандартизованими інтерфейсами для сприяння масштабованості, гнучкості та розширюваності. Надто спрощена архітектура IMS зображена на малюнку нижче.

IMS забезпечує безпечний і надійний мультимедійний зв'язок між різними пристроями в різних мережах. Архітектурна модель забезпечує уніфіковану інфраструктуру та спільні механізми для контролю, маніпулювання, маршрутизації та управління сесіями. Він також визначає, як реалізувати автентифікацію, авторизацію та контроль обліку. Специфікації IMS включають широко використовувані рекомендації IETF (Internet Engineering Task Force), такі як протокол ініціації сеансу (SIP) для сигналізації керування сеансом.

Рівень керування, який часто називають ядром IMS, є наріжним каменем архітектури, що відповідає за регулювання комунікаційних потоків. До основних функціональних елементів рівня управління належать:

- Сервери додатків – це додатки, що надають такі послуги, як керування телефонними дзвінками, безперервність дзвінків, конференц-дзвінки та налаштування додаткових послуг

- Функція керування сеансом виклику (CSCF) – серце архітектури IMS, відповідальне за керування сеансами між кінцевими точками (названими терміналами в специфікаціях IMS) і програмами

- Домашній сервер абонентів (HSS) – головна база даних, яка зберігає всю інформацію профілю користувача, яка використовується для автентифікації та авторизації абонентів

- Шлюз сигналізації (SGW) і функція керування медіа-шлюзом (MGCF) – відповідно забезпечують взаємодію SS7 і MGCP з PSTN

– Функції медіа-ресурсів (MRF) – надає пов'язані з медіа функції, такі як відтворення тонів і цифрових оголошень

Багато функцій IMS далі деконструюються на окремі функціональні елементи. Наприклад, функція CSCF охоплює три окремі ролі: обслуговуючий CSCF (C-CSCF), запитувальний CSCF (I-CSCF) і проксі-CSCF (P-CSCF).

Які переваги та переваги IP-мультимедійних послуг?

Визначаючи багатопарову мережеву архітектуру з відкритими інтерфейсами, IMS забезпечує більшу гнучкість і розширюваність порівняно з традиційними монолітними мережевими архітектурами. Переваги IMS і переваги для постачальників послуг включають:

– Незалежність програми, мережі та пристрою: програми відокремлені від транспортного рівня. Постачальники послуг можуть надавати загальні програми та послуги з уніфікованою автентифікацією, авторизацією та обліковим записом на різних пристроях у мобільних мережах 4G і 5G, мережах Wi-Fi, фіксованих мережах і мережах MSO.

– Компоненти багаторазового використання: скоротить CAPEX і OPEX, використовуючи загальні функціональні елементи IMS для підтримки кількох послуг

– Рішення на основі стандартів: шляхом розгортання мережевих елементів на основі стандартів постачальники послуг можуть усунути прив'язку до постачальника та стримати витрати.

– Взаємозв'язок послуг: використовуйте стандартні механізми для однорангового зв'язку та з'єднання різних мереж постачальників послуг зв'язку, а також для безперервного роумінгу між мережами.

– Покриття послуг: стандарти IMS охоплюють широкий спектр комунікаційних послуг на основі IP, включаючи голосовий, відео, текстовий чат, багатосторонні конференції та програми для співпраці.

– Конвергенція: шляхом розвитку застарілих голосових мереж TDM до конвергентних IP-мереж, які підтримують голосові та IP-мультимедійні послуги, постачальники послуг можуть зменшити OPEX.

– Якість обслуговування: IMS підтримує засновані на політиках механізми QoS для забезпечення SLA та забезпечення задовільного досвіду користувачів.

Розробка структурної схеми

На рисунку 1 зображено структурну схему системи. IMS (IP Multimedia Subsystem) – технологія передачі мультимедійних даних в електровз'язку на основі протоколу IP. Сама концепція є розвиток SoftSwitch, суть полягає в можливості надання необмеженого списку послуг, розподіляючи кожен як функцію на певний логічний сервіс.

IMS [3] надає SDP для надання мобільних мультимедійних послуг, таких як VoIP, відеотелефонія, мультимедійні конференції, мобільний контент і push-to-talk. Він базується на протоколах IETF (Internet Engineering Task Force), таких як SIP [4], DIAMETER [8], SDP, Real-Time Transport Protocol (RTP) і протокол керування передачею (TCP)/стек IP-протоколів. IMS вважається платформою надання послуг наступного покоління. Він включає модульну конструкцію з відкритими інтерфейсами та забезпечує гнучкість, необхідну для надання мультимедійних послуг через технологію IP. IMS не стандартизує певні послуги, але використовує стандартні засоби активації служб (наприклад, присутність) і за своєю суттю підтримує мультимедіа та VoIP. В архітектурі IMS SIP [4] використовується як стандартний протокол сигналізації, який встановлює, контролює, модифікує та припиняє голосові, відео та сеанси обміну повідомленнями між двома або більше учасниками. Сервери сигналізації, пов'язані з архітектурою, називаються функціями контролю стану (CSCF) і відрізняються своїми специфічними функціями.

Функціональність, пов'язана з автентифікацією, авторизацією та обліком (AAA), в IMS заснована на протоколі IETFDIAMETER [6] і реалізована в системі домашньої передплати (HSS), CSCF і багатьох інших компонентах IMS, щоб забезпечити функцію виставлення рахунків в IMS. Замість розробки протоколу з нуля, DIAMETER базувався на службі віддаленої автентифікації за викликом користувача (RADIUS) [7], яка

використовувалася для надання послуг AAA для серверів і терміналів комутованого доступу в усіх середовищах. Інший протокол, важливий для мультимедійного вмісту, — транспортний протокол реального часу (RTP) [8], який забезпечує наскрізну доставку даних у реальному часі. Він також містить наскрізні послуги доставки, такі як ідентифікація типу корисного навантаження (кодек), нумерація послідовності та штампування часу, а також моніторинг даних у реальному часі. RTP забезпечує моніторинг якості обслуговування (QoS) за допомогою протоколу керування RTP (RTCP) [9], який передає інформацію про учасників медіа-сеансу.

Суб'єкти IMS і ключові функції можна класифікувати за шістьма категоріями [10]: керування сеансами та родина маршрутизації (CSCF), бази даних (HSS, SLF), елементи взаємодії (BGCF, MGCF тощо), послуги (сервер додатків, MRCF, MRFP), об'єкти підтримки (THIG, шлюз безпеки [SEG], PDF) і стягнення плати. Найважливіші компоненти та частини архітектури IMS описані наступним чином: Функція контролю стану виклику проксі (P-CSCF) є першою точкою контакту в базовій мультимедійній мережі IP; трафік сигналізації allSIP відабо до обладнання користувача (UE) проходить через P-CSCF. Його адресу виявляє UE після активації контексту протоколу пакетних даних (PDP). P-CSCF поводить себе як проксі, приймаючи та пересилаючи запити та відповіді. Він виконує такі функції, як авторизація ресурсів носія для відповідного рівня QoS, екстрені виклики, моніторинг, (де)стиснення заголовка та ідентифікація I-CSCF

Функція контролю стану запиту виклику (I-CSCF) є першою контактною точкою в мережі оператора. Він зв'язується з HSS, щоб отримати адресу S-CSCF для обслуговування користувача для реєстрації. Він пересилає SIP-запити та відповіді до S-CSCF. Він також виконує функції приховування топології мережі. Функція контролю стану викликів (S-CSCF) виконує послуги керування сеансом для кінцевої точки та підтримує стан сеансу відповідно до потреб оператора мережі для підтримки послуг. У мережі оператора різні S-CSCF можуть мати різні функції. Важливі функції, які виконує S-CSCF, включають реєстрацію користувачів/взаємодію з сервісними платформами для підтримки сервісів. S-CSCF вирішує, чи потрібно AS отримувати інформацію, пов'язану з вхідним запитом на сеанс SIP, щоб забезпечити відповідну обробку послуг. Рішення в S-CSCF базується на інформації фільтра, отриманій від HSS [10]. Ця інформація фільтра зберігається та передається кожному користувачеві окремо для кожного сервера окремої програми. Домашній абонентський сервер (HSS) є еквівалентом HLR (реєстру домашнього розташування) у системах 2G, але розширений двома опорними точками на основі DIAMETER. Це головна база даних IMS, яка зберігає профілі користувачів IMS, включаючи інформацію про індивідуальну фільтрацію, інформацію про статус користувача та профілі сервера додатків. Сервер додатків (AS) надає сервісні платформи в середовищах IMS. Він не стосується того, як програмуються мультимедійні/додаткові програми; підтримуються лише чітко визначені інтерфейси сигналізації та адміністрування (контроль служби IMS [ISC] і Sh), а також протоколи SIP і DIAMETER. Це дозволяє розробникам використовувати майже будь-яку парадигму програмування в SIP AS, наприклад застарілі інтелектуальні мережеві сервери (тобто середовища підтримки CAMEL); сервери/шлюзи відкритого сервісного доступу (OSA)/Parlay; або будь-яка перевірена парадигма програмування VoIP SIP, як-от сервлети SIP, мова програмування викликів (CPL) і сценарії загального інтерфейсу шлюзу (CGI) [11].

SIP AS запускається S-CSCF, який перенаправляє певні сеанси до SIPAS на основі завантажених критеріїв фільтра або шляхом запиту інформації фільтра від HSS у парадигмі на основі користувача. SIP AS містить правила фільтрації, щоб вирішити, яку з програм, розгорнутих на сервері, слід вибрати для обробки сеансу. Під час виконання логіки обслуговування SIP AS також може спілкуватися з HSS, щоб отримати додаткову інформацію про абонента або отримати сповіщення про зміни в профілі абонента [12]. Функцію медіа-ресурсу (MRF) можна розділити на контролер функції медіа-ресурсу (MRFC) і процесор функції медіа-ресурсу (MRFP). Він забезпечує ресурси обробки медіа-потоків, такі як мікшування медіа-оголошень, медіа-оголошення, аналіз медіа-ресурсів, і перекодування

медіа, а також мови [10]. Іншими трьома компонентами є функція керування межовим шлюзом (BGCF), функція керування медіа-шлюзом (MGCF) і медіа-шлюз (MG), які забезпечують взаємодію каналів між RTP/IP і каналами-носіями, що використовуються в застарілих мережах. Система кінцевого користувача IMS забезпечує необхідну підтримку протоколу IMS, а саме SIP, і пов'язані з послугами медіа-кодеки для мультимедійних програм на додаток до базової підтримки підключення (наприклад, GPRS, бездротова локальна мережа [WLAN])

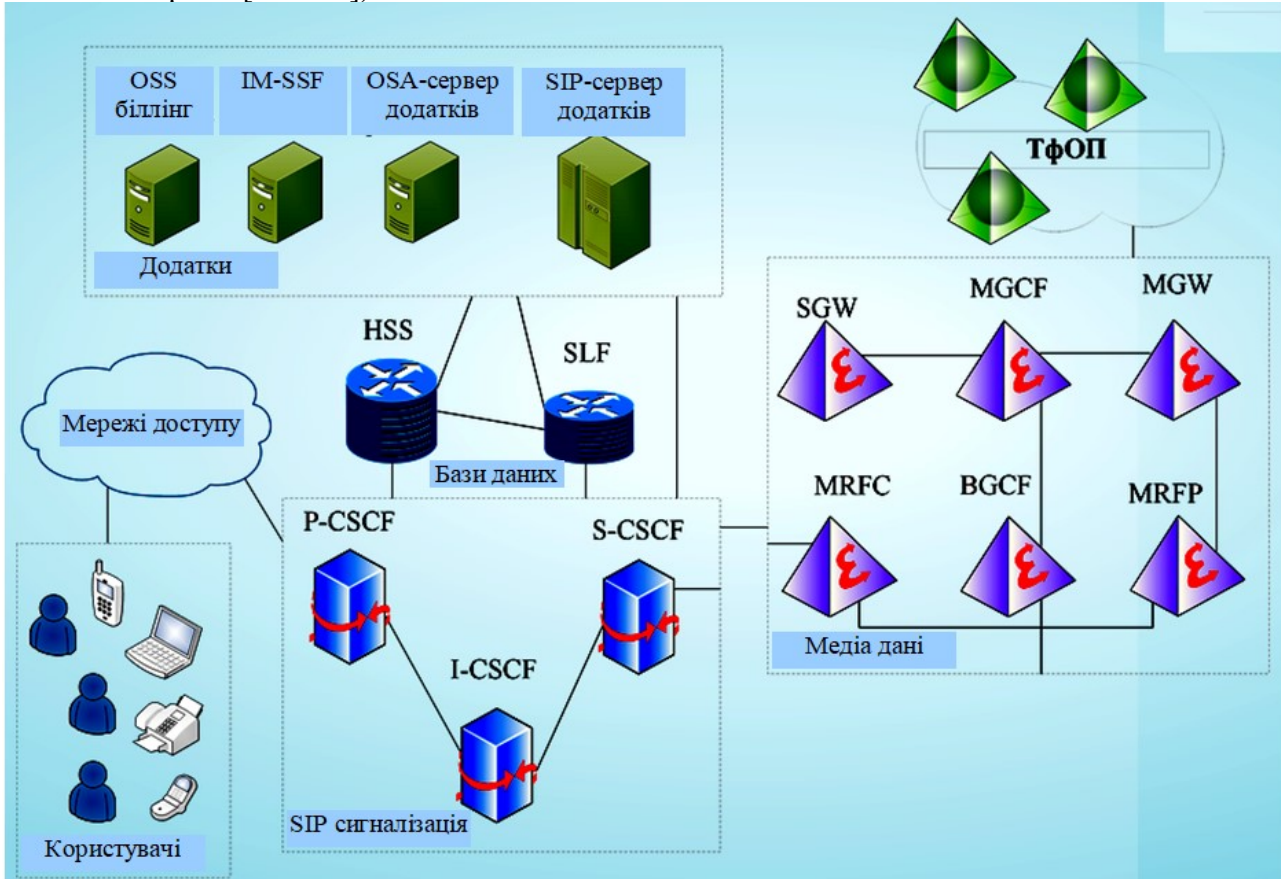


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Серйозним фактором, що стримує повноцінну реалізацію архітектури IMS, є те, що переважна більшість телефонних мереж, включаючи й мережі стільникового зв'язку, ґрунтуються на комутації каналів, а “ідеологія” IMS – пакетна. Причому не просто пакетна: у документах 3GPP прописане використання протоколу IP версії 6 (IPv6). Це значить, що для повноцінного переходу до IMS операторів зв'язку прийде не тільки вибудувати нову схему керування сеансами зв'язку й модернізувати системи підтримки експлуатації (OSS) і бізнес-операцій (BSS), але й істотно попрацювати над базовою інфраструктурою, забезпечивши підтримку маршрутизаторами протоколу IPv6. Здається, далеко не всі оператори готові найближчим часом піти на такі масштабні інвестиції.

Ще одна велика проблема – відсутність терміналів, орієнтованих на роботу в IMS-мережах. Якщо в традиційних телефонних мережах термінали (телефони) – це пристрої, що володіють мінімумом “інтелектуальних” функцій, то технології IMS вимагають досить високого рівня цього самого “інтелекту” для роботи зі складними прикладними службами. Коли ми говоримо про IMS-сумісні термінали, то в першу чергу маємо на увазі, що мобільна трубка або інший абонентський пристрій поставлені клієнтом, здатним ініціювати й обробляти IMS-запити. Крім того, цей клієнт повинен підтримувати роботу таких додатків, як, наприклад, push-to-talk. Ці додатки можуть поставлятися із самим терміналом або завантажуватися з мережі.

Сьогодні ситуація така, що розроблювачі термінального встаткування не готові почати масове виробництво IMS-сумісних терміналів з тієї причини, що самих мереж IMS ще дуже й дуже мало. Разом з тим відсутність терміналів (і нових додатків) серйозно гальмує розгортання нових мереж. Тільки коли це замкнуте коло буде розірваний, можна буде говорити про початок широкомасштабного розгортання IMS-систем.

Тактична мета впровадження IMS – реалізація нових, цікавих користувачам послуг – здатна підвищити прихильність абонентів до свого сервіс-провайдеру. Однак повний перехід до архітектури IMS може спричинити зовсім інший ефект. Як тільки середовище керування надаваними послугами стане стандартної й уніфікованої (для мереж і фіксованого й мобільного зв'язку), операторам стане суцужніше підтримувати строгий контроль над “своїми” групами користувачів. Реалізація “листокової” IMS-архітектури приведе до чіткого поділу між постачальниками послуг і мережних операторів, і бізнес по наданню доступу до мережних інфраструктур також буде принципово відділений від бізнесу по наданню комунікаційних і інших послуг.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів передачі мультимедійних даних за технологією IMS. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем передачі мультимедійних даних за технологією IMS; Досліджена система передачі мультимедійних даних за технологією IMS; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи передачі мультимедійних даних за технологією IMS. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання передачі мультимедійних даних за технологією IMS. 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., Yenchov, 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., Neskorodieva, T., Fedorov, E., Rudakov, K., Neskorodieva, 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, Drieiev 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 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.
 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., Serhienko 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.
 22. 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.
 23. 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.