

УДК 004

О.Бойко, магістр гр. КІ-24М,*Центральноукраїнський національний технічний університет*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КЛІЄНТА ВКЗ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ WEBRTC

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC. Метою розробки є дослідження та принципи побудови системи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC. Об'єктом дослідження є процес клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC. Предметом дослідження є методи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC. Методи дослідження базуються на методах обробки інформації у комп'ютерній мережі, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

відео-конференц-зв'язок, WebRTC

Постановка проблеми. Визначальний вплив на розвиток загальносвітового ринку ВКЗ в останні кілька років роблять підвищення мобільності користувачів і потребу в простих й зручних у використанні рішеннях. При виборі продукту все частіше перевага віддається пристроям з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, які легко включаються й не вимагають докладних інструкцій для експлуатації. По усьому світі люди прагнуть до максимальної мобільності й воліють якнайменше часу проводити прив'язаними до свого робочого місця. Тому для сучасних працівників надто важливо поза залежністю від місцезнаходження одержувати всі ті ж функції, що й в офісі, у тому числі можливість взаємодіяти зі своїми колегами з використанням високоякісного відео.

Ці тенденції проявляються й на українському ринку, хоча попит на мобільні рішення багато в чому залежить від рівня розвитку міської інфраструктури й часу, що людям доводиться витратити на дорогу до роботи. Сучасний мегаполіс, такий як Київ, змушує жителів щодня проводити в пробках по кілька годин. На щастя, якісне інтернет-підключення доступно в столиці практично повсюдно й при наявності відповідних інструментів дозволяє працювати з будинку без втрати функціональності. Головними драйверами розвитку ВКЗ є представники покоління Y (люди, що народилися з 1980 по 2000 рік). Вони прекрасно орієнтуються в технологічних новинках, активно користуються відеозв'язком, різними месенджерами й соціальними мережами. Таким чином, і нові ВКЗ-рішення повинні бути настільки ж мобільними, інтуїтивно зрозумілими й гнучкими, як технології соціальної взаємодії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-30] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та принципи побудови системи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.

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

- Огляд існуючих систем клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.
- Дослідження системи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.

– Програмна реалізація системи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.

Об'єктом дослідження є процес клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.

Предметом дослідження є методи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.

Методи дослідження базуються на методах обробки інформації у комп'ютерній мережі, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Основні тенденції ринку ВКЗ:

– Підвищення мобільності користувачів.

– Ріст потреби в рішеннях із простим, інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом.

– Можливість підключення до ВКЗ без якого-небудь програмного клієнта – просто через браузер завдяки технології WebRTC.

– Інтеграція з іншими системами, у першу чергу Skype for Business і системою корпоративної телефонії.

– Зниження цін за рахунок посилення конкуренції, поширення нових моделей (хмари), зміни схем ліцензування та ін.

Термінали: групові й/або персональні

Багаторічні дослідження показують, що частка замовників, що використовують групові термінали ВКЗ, не знижується. Різкого росту числа компаній, що застосовують персональні термінали, також не спостерігається. Хоча, звичайно, загальне число індивідуальних засобів відеозв'язку росте швидше, ніж число групових систем.

Грунтуючись на статистику продажів, відзначимо, що динаміка продажів групових систем у цілому треба за ринком: при погіршенні економічної ситуації в країні попит на них падає, при поліпшенні – збільшується. Тоді як продажу настільних відеосистем від стану ринку не залежать і рік у рік перебувають практично на одному рівні. Імовірно, це обумовлено тим, що в нас у країні настільний відеотелефон так і не став інструментом рядових співробітників компаній і позиціонується як засіб зв'язку керівника.

Тому що наші основні замовники – це великі корпорації й державні організації, найбільше продається групових терміналів. Відзначимо також ріст попиту на ПЗ зв'язкове сполучення відео-конференц-зв'язку для мобільних пристроїв і ПК, що пов'язане з ростом числа мобільних співробітників і розвитком концепції віддаленої роботи в Україні.

Поява нового стандарту WebRTC з підтримкою SVC здатна зробити революцію, схожу з тією, що викликали програмні рішення.

Для задоволення поточний бізнес-потреб часом вигідніше побудувати якийсь переговорний кластер для організації внутрішніх і зовнішніх комунікацій.

Недавно проведене дослідження показало, що, хоча традиційні конференц-зали як і раніше використовуються досить широко, перевага віддається більше гнучкому середовищу, що сприяє більш відкритому й ефективному співробітництву. Це виражається в росту популярності так званих huddle rooms – невеликих кімнат або ізольованих просторів усередині офісу, технічно оснащених для цілей спільної роботи. Експерти Polysom вважають, що надійних рішень для таких завдань із адекватною вартістю на ринку недостатньо, тому компанія випустила ряд націлених на таке застосування новинок: RealPresence Debut і Trio.

Cisco

Головна новинка року від Cisco – сервер Cisco Meeting Server. Він працює з устаткуванням і ПЗ різних виробників, підтримує специфічні для них механізми кодування голосу й відео з якістю до 1080p60 і поєднує в поділюваних робочих просторах різні типи комунікацій – чат, голос, Web-конференції й відео, а також надає кошти для гнучкого керування ними. Якщо в користувача немає спеціального устаткування зв'язку, то сервер дозволяє підключитися до конференцій із браузера з використанням технології WebRTC (без необхідності установки додаткових програмних модулів).

Інші нововведення стосуються термінального встаткування. Cisco змінила дизайн інтерфейсів і розробила нове ПЗ для персональних відеосистем, уніфікувавши його для всієї лінійки продуктів. При цьому «розумні» камери вийшли на новий рівень: до режиму

автоматичного наведення на мовця доданий працюючий паралельно з ним режим виявлення й супроводу лектора.

Компанія реалізувала просте й інтуїтивне керування конференцією прямо із сенсорного пульта (технології ActiveControl). А завдяки новому функціоналові InRoom Control користувачі можуть управляти із цього ж пульта будь-яким стороннім устаткуванням.

ClearOne

Хмарний сервіс Spontania 3.0 дозволяє розгорнути віртуальну переговорну, у якій комфортно переглядати й обговорювати презентації й інші файли, завантажені із пристрою користувачів. Сервіс пропонується як по моделі SaaS, так і по моделі PaaS. У другому випадку замовник одержує свою хмару з необмеженим доступом до таких сервісів, як миттєвий обмін повідомленнями (чат), відеовиклики й спільна робота над документами.

Безкоштовна річна передплата на Spontania надається разом з більшістю ВКЗ-продуктів ClearOne. У їхнє число входить компактний апаратний кодек Collaborate Pro 300 для малих і середніх приміщень, у комплект поставки якого включені камера з 12-кратним зумом і спікерфон. Кодек Collaborate Pro 600 поставляється із двома з'єднаними в ланцюжок мікрофонними масивами й убудованим сервером MCU. У комплекті Collaborate Pro 900 – мікрофонний масив Beamforming з мікшерним пультом Converge DSP. Крім того, даний комплект підтримує запис і віщання відео.

Huawei

Одна із самих цікавих новинок в області ВКЗ – Huawei TE10, компактний термінал з камерою із сенсором 2 Мпікс, розв'язною здатністю 1080p FHD і п'ятикратним оптичним збільшенням. Як відзначають в Huawei, TE10 являє собою пристрій для роботи з корпоративними й хмарними рішеннями ВКЗ; відрізняється адаптивністю, простими налаштуваннями, ефективністю й захищеністю корпоративного класу; позиціонується як рішення для персонального використання або для малих приміщень. Термінал наділений всім необхідним для надання повноцінного функціонала ВКЗ, забезпечує ультраширокий кут огляду камери й ультраширокий сектор захвата звуку.

Термінал TE10 простий у використанні, а на його розгортання, по даним Huawei, потрібно тільки 1 хв. Він важить усього 500 г і має невелике енергоспоживання (8 Вт). Компактність, простота й багатий функціонал дозволяють використовувати термінал TE10 у різних сценаріях, починаючи з організації зручного спілкування для компаній будь-якого розміру до систем телемедицини, дистанційного утворення й ін.

Як відзначають в Huawei, TE10 привносить у лінійку продуктів ВКЗ цієї компанії принципово новий інтерфейс, орієнтований на простоту використання. Такий же інтерфейс має й інша новинка Huawei – груповий термінал TE20, призначений для малих і середніх конференц-кімнат.

Крім того, в Huawei звертають увагу на оновлений персональний термінал для керівника DP300 з 27-дюймовим сенсорним екраном FHD IPS, а також на новий груповий термінал TX50 і камеру VPC800, першого представника ери ВКЗ із розв'язною здатністю 4К.

Grandstream

Представники компанії виділили два групових термінали ВКЗ: GVC3200 і GVC3202. Це рішення на базі Android з убудованим сервером MCU. Модель GVC3200 підтримує до дев'яти учасників відеоконференції (до чотирьох у режимі Full HD), а модель GVC3202 – до трьох учасників HD-відеоконференції (або Full HD у режимі «точка – точка»). На GVC3200 або GVC3202 установлені керовані камери з 12- і 9-кратним оптичним збільшенням відповідно.

Термінали Grandstream підтримують взаємодія по Bluetooth і Wi-Fi. До них підключається до трьох моніторів (вхід VGA/HDMI), можливий запис відеоконференцій. Рішення побудовані на базі SIP-архітектури з підтримкою хмарної платформи IPVideoTalk.

Сервіс аудіо-, відео- і Web-конференцій IPVideoTalk дозволяє організувати трансляцію конференції на 100 учасників. Для участі потрібні тільки ноутбук і Web-браузер.

Logitech

Представники Logitech виділили дві новинки для систем ВКЗ: відеокамери Group і C925E.

Камера Logitech Group призначена для конференц-кімнат: її базових можливостей досить для проведення наради за участю до 14 чоловік в одній кімнаті, а при використанні додаткових виносних мікрофонів – до 20. Завдяки тому, що камера підтримує USB-підключення за технологією Plug-and-Play, для початку сеансу ВКЗ пристрій досить підключити до ноутбука. Logitech Group підтримує запис відео високої чіткості 1080p із частотою 30 кадрів у секунду. Варті уваги також підтримка стиску відео по стандарті H.264 і десятикратний зум. Як затверджують у компанії, камера сумісна з кожним ПЗ для проведення відеоконференцій.

У комплект Logitech Group входять також пульт дистанційного керування й пристрій голосного зв'язку. Останнє підтримує функції луна- і шумозаглушення, що гарантує природну звукопередачу й у той же час зменшує реверберацію й фоновий шум.

Web-камера Logitech C925e також підтримує відео Full HD (1080p) із частотою 30 кадрів у секунду. Поле огляду камери становить 78° – цього досить для її використання невеликими групами або однією людиною. Модель C925e підтримує технологію RightLight 2 і здатна робити інтелектуальне підстроювання для поліпшення якості зображення при недостатнім висвітленні або наявності заднього підсвічування. Камера підключається за принципом Plug-and-Play і сумісна практично з усіма додатками ВКЗ, включаючи Skype for Business, Lync, Cisco Jabber і WebEx.

Polysom

Доступна українським замовникам з 2025 року універсальна система Polysom RealPresence Clariti являє собою повнофункціональну інфраструктуру для спільної роботи, здатну забезпечити висока якість аудіо- і відеозв'язку, обмін контентом, підтримку мобільних користувачів, інтеграцію з Microsoft Lync/Skype for Business і багато чого іншого. Розгортання інфраструктури Clariti може бути здійснене як на базі апаратних серверів Polysom, так і з використанням ПЗ для популярних платформ віртуалізації.

Ряд новинок Polysom випустила для так званих huddle rooms – невеликих кімнат або ізольованих просторів усередині офісу, призначених для спільної роботи. Одна з них – RealPresence Debut. Вона проста як у розгортанні, так і у використанні й, як затверджують у компанії, не має аналогів по співвідношенню якості й ціни. Рішення пропонує HD-відео з високою частотою кадрів, можливість обміну контентом з розв'язною здатністю аж до 1080p, а також оснащено аудіоінноваціями Polysom, включаючи технологію NoiseBlock, що усуває зайві шуми.

Ще одне рішення – RealPresence Trio – являє собою перший інтелектуальний центр, що трансформувалася звичний усім трикутний телефон-жабу для сполучення-конференц-зв'язку в потужну систему для спільної роботи. Рішення підтримує технології придушення шуму, передачі аудіо-, відео- і HD-контенту.

TrueConf

Фахівці компанії відзначають, що останнім часом початку активно розвиватися інтеграція ВКЗ із різним устаткуванням і системами. Тому TrueConf відкрила стороннім розроблювачам доступ до комплекту бібліотек SDK для створення мобільних систем ВКЗ. Оскільки SDK можуть використовувати тільки кваліфіковані фахівці, вирішено було також запропонувати більше простий інструмент для інтеграції відеозв'язку. У результаті з'явилися різні набори інструментів для організації програмувальної взаємодії із продуктами TrueConf через інтерфейси API.

TrueConf планує надати користувачам у переговорних кімнатах такі ж гнучкість і функціональність, які вони звикли бачити на своїх робочих місцях. Для цього розроблений перший безкоштовний програмний ВКЗ-термінал – TrueConf Terminal 2.0. Система встановлюється на ПК під керуванням ОС Windows, а користувач може управляти терміналом з будь-якого пристрою через Web-браузер.

В 2025 році з'явилися повноцінні 3D-камери, які мають два високоякісних сенсори (по 1080р кожний), автофокус, USB-інтерфейс. Одночасно виник і попит на 3D-ВКЗ. Формально розробку 3D-ВКЗ TrueConf не можна вважати новинкою, однак тільки зараз вона стала затребувана: з'явилися перші серйозні проекти, в основному в області телемедицини.

Yealink

Компанія, що представляє в Україні системи вкЗ, Yealink як новинки вказала не тільки окремі продукти, але й інтеграційні рішення.

Перше передбачає інтеграцію різного встаткування (кодеки Yealink, матричні відеоконмутатори Kramer, засобу керування Crestron, AMX) для побудови складних систем для залів сполучення відео-конференц-зв'язку, де потрібні «просунуті» аудіовізуальні засоби й комплексне керування.

Друге рішення представники Yealink характеризують як «усе з однієї коробки». У його состав входять і апаратний сервер, і програмний MCU, і апаратні кодеки в складі стійки з телевізорами. Що важливо: до трьох чвертей у вартості такого рішення доводиться на зроблені в Україні продукти.

Нарешті, третя новинка, що повинна з'явитися до кінця 2025 року, – це двокамерне рішення «усе в одному» без додавання складних елементів. Все керування буде здійснюватися з пульта або конференц-телефону.

Разом з тим ряд компаній указують на збільшення частки персональних відеотерміналів. Воно відбувається головним чином за рахунок програмних клієнтів. «Сьогодні практично в кожному проекті, крім відеотерміналів для переговорних кімнат, передбачаються програмні відеоклієнти для співробітників, – говорить вона. Тенденція така, що кожному співробітникові повинен бути доступний такий сервіс для оперативної роботи».

Якщо замовник готовий купити апаратний кодек, то найчастіше він здобуває саме груповий кодек. Також відзначимо істотний ріст частки «тонкого кодеку», коли замовник замість класичного апаратного кодеку вибирає рішення на базі ПК або неттопа.

Однієї із причин росту попиту на програмні персональні термінали ВКЗ – підвищення якості відеокамер ноутбуків. При цьому підкреслимо, що якісні й недорогі персональні пристрої ВКЗ теж розвиваються й непогано затребувані.

Інфраструктура: апаратна або програмна

Дані свідчать про те, що замовники досить швидко оцінили переваги програмних серверів MCU – в 2025 році їх використовують уже порядку 30% всіх компаній, що мають системи ВКЗ. Але більшість – 55% – поки віддають перевагу апаратним MCU.

Світові тенденції в ІТ, яким треба Cisco, зложилися на користь не просто програмних систем, а програмних систем, що розгортаються на базі розповсюджених рішень віртуалізації (VMware і Microsoft). Віртуалізовані рішення мають масу переваг перед апаратними серверами. Їх простіше обслуговувати, при виході з ладу апаратної частини їх можна перенести в інший ЦОД або відновити з резервної копії практично миттєво, тоді як при поломці апаратного сервера зроблені в нього інвестиції, швидше за все, виявляться загублені. При необхідності нарощування ємності або продуктивності можна просто виділити віртуальній машині більше ресурсів, а у випадку апаратного рішення прийде здобувати новий сервер. Більше того, необов'язково здобувати апаратну платформу у виробника ПЗ – можна використовувати наявну й відповідну ІТ-стандартам підприємства. І це далеко не повний список переваг віртуалізації, містить експерт Cisco.

В ідеальній з погляду Cisco ситуації виконання відеоз'єднання для користувача не повинне нічим відрізнятись від дзвінка по мобільному телефоні

Класичні апаратні пристрої уступають своє місце програмним серверам відео-конференц-зв'язку. Сучасна інфраструктура ВКЗ являє собою не набір «заліза», а комплекс віртуальних машин у ЦОДі.

Софтверизація є важливою тенденцією ринку ВКЗ, а програмні рішення по своїй функціональності вже практично не уступають апаратним. І ми спостерігаємо появу в замовників інтересу до програмних рішень. Правда, з одним важливим застереженням, що

такі рішення здобуваються назавжди – по сценарії «вічного володіння». Але, як показує практика, українські замовники все-таки як і раніше тяжіють до класичних апаратних платформ, а використання програмних інфраструктур, скоріше, доля окремих передових компаній з високим рівнем зрілості ІТ.

На нинішньому етапі розвитку ринку ВКЗ практично вже не важливий тип сервера (програмний або апаратний) – на перше місце виходять питання архітектури системи, вартість підключення одного абонента, наявність підтримки масштабованого кодування відео (SVC). Поява нового стандарту WebRTC з підтримкою SVC змусить багатьох гравців кардинально переглянути політику ліцензування своїх інфраструктурних рішень. Це здатно зробити революцію, схожу з тої, що викликали програмні рішення.

Модель розгортання: «все своє» або хмари

Дані однозначно свідчать: на українському ринку домінує модель «все своє» – їй віддають перевагу більше 65% замовників.

Для великого бізнесу важливо мати можливість контролю, а також застосовувати специфічні вимоги до зберігання даних, наприклад в області захисту інформації. Хмарні сервіси, як правило безкоштовні (Skype, Viber і інші), використовують переважно дрібні компанії, а також стартапи.

Традиційно переважає модель «все своє», проекти з переходом у хмару можна перерахувати по пальцях однієї руки, і те в половині з них використовуються власні хмари. Зв'язує він це з тим, що часто системи ВКЗ використовуються для обговорення конфіденційних питань, а поки замовники випробовують недовіру до безпеки хмарних технологій.

Перевага моделі «все своє» пояснюється тим, що багато керівників не довіряють хмарам, вважаючи їх небезпечними. При цьому сама СТІ однієї з перші початки пропонувати в Україні хмарну послугу «ВКЗ по запиті». Забезпечується високий рівень захисту хмари, . При цьому враховуються рекомендації виробників і власний досвід в області безпеки.

У нашій країні хмарні сервіси ВКЗ не одержали значимого розвитку, у тому числі й тому, що придбання відповідної інфраструктури затратно для провайдеру, а законодавча база обмежує використання закордонних сервісів.

Проте в Україні чимало й прихильників хмарної моделі. Хто б що не говорив, малий і середній бізнес буде користуватися хмарними рішеннями. Це факт, що відбулось, у Західній Європі й США, до цього все йде й в Україні. Вітчизняні компанії стрімко беруть на озброєння хмарні сервіси.

Малий і середній бізнес як і раніше гостро має потребу в засобах уніфікованих комунікацій. Апаратні системи ВКЗ надають їх, але залишаються дорогими й недоступними для масового користувача, по суті, будучи долею великих корпорацій. На зміну їм поступово приходять більше доступні хмарні сервіси, незаперечним плюсом яких стала можливість підключення до багатоточечному сеансу не тільки групових ВКЗ-кодеків, але й персональних пристроїв: ноутбуків, планшетів і навіть смартфонів.

Багато експертів відзначають ріст інтересу замовників до гібридних моделей, що передбачають масштабування приватної інфраструктури або розширення набору функцій за рахунок хмарних сервісів. Виробники прагнуть відповідати цій тенденції. Так, Polycom із середини 2017 року пропонує в Україні своє гібридне рішення RealPresence Clariti. Популярні сервіси Web-конференцій Cisco WebEx також можуть бути використані для побудови гібридного рішення для масштабування корпоративного сервісу ВКЗ до сотень учасників. До нарад у віртуальних переговорних кімнатах WebEx CMR можуть підключатися учасники з будь-якого зручного для них пристрою: стандартної відеосистеми, ПК, мобільного пристрою, телефону, браузера або програмних клієнтів Lync (Skype for Business).

Поки в порівнянні із загальносвітовими показниками проникнення хмарних сервісів в Україні ще не так значно. Але інтерес до цих сервісів очевидний, і гібридні рішення можуть стати гарним варіантом для багатьох замовників.

Тенденція до зниження вартості систем ВКЗ очевидна. Схеми ліцензування міняються, ціни стають більше демократичними, а ВКЗ – більше доступною.

Мало того, що замовники прагнуть заощаджувати, вони хочуть за менші гроші придбати більше функцій. Як відзначає Владислав Перегудів, на ринку з'явилися нові моделі, які можна віднести до низькобюджетного сегмента, але вони відповідають сучасним вимогам до ВКЗ, а в ряді випадків надають розширені функції. У першу чергу, це рішення «усе в одному», коли, наприклад, у корпус камери вже убудований термінал. Завдяки привабливій ціні й універсальному функціоналові попит на них досить стабільний.

Якщо раніше вартість оснащення переговорної кімнати системою ВКЗ становила мінімум 500 тис. гривень, то зараз вхідний поріг став нижче, починаючись від 150 тис., – далі все залежить від розміру кімнати й переваг замовника. Така ситуація змушує виробників з «великої трійки» (Cisco, Polycom, Huawei) випускати бюджетні термінали.

Змінюються схеми ліцензування, ціни стають більше демократичними, а ВКЗ – більше доступною.

Питання економії знову приводить багатьох до хмар. У період кризи усе більше компаній урізують бюджет на ВКЗ, і найбільш доступним рішенням виявляється послуга SaaS. Вартість рішення Spontania порівнянна з витратами на офісні потреби – від покупок скріпок до заправлення картриджів (та й то на 26 доларів на місяць особливо не розгуляєшся). При цьому замовник одержує можливість проведення нарад і конференцій цілодобово.

Ще одна тенденція – бажання замовників здобувати встаткування в оренду. Причина тому – нестабільна економічна ситуація: клієнти не хочуть вкладати гроші прямо зараз, прагнучи перенести витрати на ОРЕХ. Але така модель продажів становить інтерес не для всіх учасників ринку

У цілому ситуація на українському ринку ВКЗ характеризується появою нових гравців і посиленням конкуренції, що, безумовно, сприяє зниженню цін. Якщо до цього додати підричний ріст числа потенційних терміналів ВКЗ (у першу чергу завдяки росту популярності Skype for Business і розвитку технології WebRTC), то перешкод на шляху масового використання відеозв'язку стає усе менше. Якщо виходити з кількості проданого класичного встаткування ВКЗ, то в результаті може створитися враження, що ринок «просів», але насправді проникнення відео в корпоративне середовище «розширюється» і «заглиблюється». Просто не завжди нові застосування підпадають під класичне поняття ВКЗ.

Давайте розглянемо, як працює технологія WebRTC, використовуючи приклад peer-to-peer виклику на основі браузера:

- користувач відкриває сторінку WebRTC.

- Браузер може запитувати доступ до веб-камери та мікрофона. У цьому випадку користувачеві потрібно надати дозвіл застосунку WebRTC на доступ до своїх пристроїв. Також є випадки, коли цей дозвіл не потрібен, наприклад, під час перегляду прямої трансляції.

- Пакет SDP (Session Description Protocol) генерується в браузері, який ініціює з'єднання. Фактично, це текстовий файл, який містить важливі деталі з'єднання, наприклад, тип медіаданих (аудіо, відео чи контент), кодеки, які параметри підтримуються браузером тощо.

- Залежно від того, як реалізована технологія, ініціатор з'єднання передає цей пакет іншим учасникам. Для цієї мети часто використовується сигнальний сервер та протокол WebSocket.

- На стороні приймача браузер отримує SDP-пакет, а потім генерує аналогічний, який також приймає дані з першого пакета. Другий пакет надсилається назад стороні ініціатора. Тепер обидва клієнти вже певним чином познайомилися один з одним.

- Залежно від його реалізації, стан мережевого з'єднання аналізується разом з попередніми кроками. Клієнтам надається адреса STUN-сервера, яка використовується для визначення зовнішньої IP-адреси пристрою. Потім вона порівнюється з внутрішньою IP-

адресою, щоб визначити, чи використовується NAT для з'єднання, і якщо так, то як маршрутизуються UDP-пакети. У складніших випадках, наприклад, коли використовується подвійний NAT, розробники використовують TURN-сервери. Вони, по суті, є ретрансляторами, що перетворюють P2P-з'єднання на клієнт-сервер-клієнт.

- Після успішного виконання цих кроків з'єднання встановлюється. Подія `onicescandidate` періодично викликається для передачі інформації про IP-адреси, налаштування NAT та спроби з'єднання між клієнтами.

Переваги:

- Встановлення програмного забезпечення не потрібне.
- Високоякісний зв'язок завдяки:
 - o Сучасні відео- та аудіокодеки.
 - o Автоматичне налаштування якості.
 - o Вбудоване придушення луни та шуму.
 - o Автоматичне регулювання підсилення (АПП).

Сильний акцент на безпеці: усі з'єднання захищені та шифруються за протоколами DTLS та SRTP. Водночас WebRTC працює лише за протоколом HTTPS, тоді як вебсайт, що використовує цю технологію, повинен мати підписаний сертифікат.

- Підтримка SVC додана в рамках реалізації кодеків VP9 та AV1. Незважаючи на те, що браузері ще не підтримують SVC, TrueConf дозволяє використовувати SVC у клієнтських браузерах.

- Вбудована функція спільного доступу до робочого столу.
- Інтерфейси керування на основі HTML5 та JavaScript.
- Проєкт з відкритим кодом, який можна вбудувати у ваш продукт або послугу.
- Кросплатформність: WebRTC-додаток однаково добре працює з будь-якою операційною системою – настільною чи мобільною – якщо браузер підтримує WebRTC. Це значно економить ресурси розробки програмного забезпечення.

Недоліки:

- Рішення WebRTC несумісні одне з одним, оскільки стандарт описує лише методи передачі відео- та аудіоданих, дозволяючи розробникам вирішувати питання щодо методів адресації, параметрів відстеження стану, обміну повідомленнями та файлами, планування тощо. Іншими словами, ви не можете здійснювати дзвінки з однієї програми WebRTC до іншої.

- Користувачі, які піклуються про безпеку, будуть розчаровані, дізнавшись, що WebRTC визначає їхні справжні IP-адреси. Водночас ні проксі, ні мережа Tor не допоможуть зберегти анонімність. Ви можете приховати свою IP-адресу за допомогою різних VPN-сервісів та сервера TURN. За потреби WebRTC можна вимкнути.

- WebRTC не підтримує керування віддаленим робочим столом. Звичайно, ви можете транслювати те, що відбувається на екрані вашого пристрою, але це односторонній відеопотік, як зображення, що передається з камери, при цьому немає можливості взаємодіяти з джерелом потоку. Це зроблено з міркувань безпеки: код Javascript не може керувати нічим поза межами поточного вікна браузера. Ви можете отримати більше функцій, включаючи керування віддаленим робочим столом, використовуючи клієнтські програми, налаштовані постачальниками відеоконференцій.

Кодеки WebRTC

Кодеки WebRTC можна розділити на обов'язкові (браузері, що реалізують цю технологію, повинні підтримувати ці кодеки) та додаткові (нестандартні, хоча деякі браузери їх підтримують).

Аудіокодеки

Для стиснення аудіотрафіку WebRTC використовує обов'язкові (Opus та G.711) та додаткові кодеки (G.722, iLBC, iSAC).

Opus – це аудіокодек з низькою затримкою (від 2,5 мс до 60 мс), підтримкою змінного бітрейту та високим рівнем стиснення, що ідеально підходить для потокової передачі аудіо в

мережах зі змінною пропускною здатністю. Opus – основний аудіокодек для WebRTC. Це гібридне рішення, яке поєднує найкращі можливості кодеків SILK (стиснення голосу та покращення людської мови) та CELT (кодування аудіо). Кодек є відкритим та повністю безкоштовним. Безсумнівно, Opus перевершує інші аудіокодеки за багатьма параметрами. За кількістю параметрів він перевершує досить популярні кодеки з низьким бітрейтом, такі як MP3, Vorbis та AAC LC. Порівняно з AMR-WB та Speex, Opus відновлює аудіоструктуру, яка є найближчою до оригіналу.

G.711 – це застарілий високошвидкісний (64 кбіт/с) мовний кодек, розроблений для використання в традиційних VoIP-системах. Головною перевагою є мінімальне обчислювальне навантаження завдяки легким алгоритмам стиснення. Кодек має низький рівень стиснення аудіосигналів і не збільшує затримку аудіо під час зв'язку між користувачами.

G.711 підтримується багатьма пристроями. Системи, що використовують цей кодек, простіші у використанні, ніж ті, що базуються на інших аудіокодеках, таких як G.723, G.726, G.728 тощо. Що стосується якості, G.711 отримав 4,2 бала в тестуванні MOS (бал 4–5 є найвищим і означає хорошу якість, подібну до якості голосового трафіку в ISDN і навіть вищу).

G.722 – це стандарт ITU-T, прийнятий у 1988 році, який не вимагає сплати роялті. Він може працювати зі швидкістю 48, 56 та 64 кбіт/с, забезпечуючи якість звуку, еквівалентну G.711. Подібно до G.711, він є застарілим, але все ще підтримується Chrome, Safari та Firefox.

iLBC (інтернет-кодек з низьким бітрейтом) – це вузькосмуговий мовний кодек з відкритим кодом, що підтримується Chrome та Safari. Через високий рівень стиснення потоку цей кодек збільшує навантаження на процесор.

iSAC (інтернет-звуковий кодек для мовлення) – це раніше власний широкосмуговий аудіокодек для мовлення, який тепер є частиною проекту WebRTC. Однак він не є обов'язковим, але підтримується Chrome та Safari. У випадку WebRTC він використовує адаптивний бітрейт від 10 до 52 кбіт/с із частотою дискретизації 32 кГц.

Відеокодеки

Який відеокодек обрати для WebRTC? Розробникам довелося думати над цим кілька років, і відповідь – VP8 та H.264. Також є додаткові відеокодеки (H.265, VP9 та AV1).

VP8 – це безкоштовний відкритий відеокодек, що характеризується високою швидкістю декодування відео та покращеною стійкістю до втрати кадрів. Кодек багатофункціональний: його легко інтегрувати в апаратні платформи, тому постачальники послуг відеоконференцій часто використовують його у своїх продуктах. Він сумісний з Chrome, Edge, Firefox та Safari (12.1+).

Платний відеокодек H.264 став відомий набагато раніше за свого аналога. Цей кодек пропонує високий коефіцієнт стиснення відеопотоків, зберігаючи при цьому високу якість відео. Широко використовується в апаратних системах відеоконференцій, він ідеально підходить для WebRTC. Він сумісний з Chrome (52+), Edge, Firefox (більше не підтримується у версіях 68+ для Android) та Safari.

VP9 – це відкритий та безкоштовний стандарт стиснення відео, розроблений Google у 2012 році. Згодом розширений в рамках AV1It, він є результатом ідей, що лежать в основі VP8. Цей кодек сумісний з Chrome (48+) та Firefox.

H.265 – це платний відеокодек, який розглядається як наступник H.264 та забезпечує таку ж візуальну якість при вдвічі меншому бітрейті. Це можливо завдяки ефективнішим алгоритмам стиснення. Наразі цей кодек конкурує з безкоштовним AV1.

AV1 – це кодек стиснення відео з відкритим кодом, спеціально розроблений для передачі відео через Інтернет. Він підтримується Chrome (70+) та Firefox (67+).

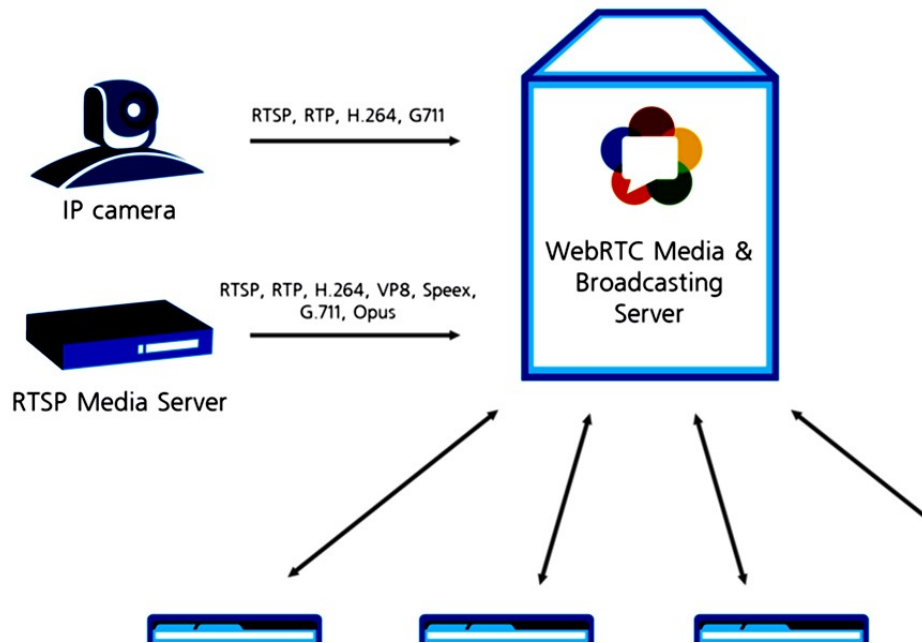


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.
- Досліджена система клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC. Розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання клієнта ВКЗ за допомогою технології WebRTC. 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. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи*, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
5. 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,
6. 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.
7. 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>
8. 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.
9. 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.
10. 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.
 11. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.*
 12. 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.*
 13. 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.*
 14. 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.*
 15. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiiian 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.*
 16. 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.
 17. 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.*
 18. 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.*
 19. 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.*
 20. 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.*
 21. 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.*
 22. 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.
 23. 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.*
 24. 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.*
 25. 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.*
 26. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», *2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.*
 27. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», *CEUR Workshop Proceedings Volume 2353, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.*
 28. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», *Telecommunications and Radio Engineering. – Volume 74, Issue 1. – Beggel House Inc. – 2015. – P. 61-78.*
 29. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New Technique for Hiding Data in Cover Images Using Adaptively Generated Pseudorandom Sequences». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2732, 2020, Pages 214-227.*
 30. Т.В. Смірнова, О.М. Дреєв, О.А. Смірнов «Хмарна інформаційна система оцінювання шорсткості з використанням дискретного частотного аналізу макрофотографій». *IV міжнародна науково-практична конференція “Інформаційна безпека та комп’ютерні технології”, м. Кропивницький. 15-16 квітня 2021р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2021. – С. 30.*
 31. О.А. Смірнов, П.С. Усік, «дослідження перспектив використання технологічних рішень в мережах 5g» у *Кібербезпека та інформаційні технології: монографія. – X. : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020.С. 122-135.*
 32. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевнін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», *Кібербезпека: освіта, наука, техніка. № 3(7). С. 43-62. 2020.*