



УДК 004.9

А. Є. Батюк, Ю. Р. Кулик

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

ІНТЕГРАЦІЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВІРТУАЛЬНУ РЕАЛЬНІСТЬ

Досліджено можливості інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність з метою подальшого вдосконалення програмних засобів та підвищення її ефективності та доступності. Проаналізовано архітектурні та інфраструктурні рішення для застосування хмарних сервісів, оброблення та зберігання об'ємних даних у віртуальних середовищах.

Здійснено комплексне наукове дослідження можливостей інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність з метою підвищення ефективності та доступності цього технологічного сегмента.

Вивчено виклики, що виникають у разі інтеграції хмарних технологій, зокрема проблеми затримок у передаванні даних та заходи для забезпечення безпеки та конфіденційності в хмарних середовищах. Розглянуто необхідність розроблення хмарної інфраструктури в популярних хмарних сервісах, зокрема, Amazon Web Services (AWS), для оптимізації обчислювальних завдань та підвищення загальної ефективності, а також можливості масштабування технології віртуальної реальності.

Розглянуто можливість створення рішення для взаємодії із хмарними ресурсами та використання програм для віртуальної реальності. Застосовано сервіси хмарного провайдера для виділення обчислюваних ресурсів, створення сховища даних, створення віртуальної мережі та керування нею, встановлення та налаштування рішення для розгортання і налаштування програмних компонентів сервера, виконання експерименту. Оцінено вплив інтеграції хмарних технологій на якість та доступність віртуальної реальності, окреслено перспективи розвитку цього об'єднання. Окрім того, розглянуто можливості створення оптимізованих рішень для взаємодії із хмарними ресурсами та використання програм для віртуальної реальності, а також оцінено вплив інтеграції хмарних технологій на якість та доступність віртуальної реальності.

Розроблено програмне рішення та підхід до побудови хмарної інфраструктури, детально описано всі кроки створення та розгортання віртуального сервера та сховища даних для його взаємодії із системами віртуальної реальності.

Перспективи розвитку такого об'єднання відкривають широкі горизонти для інноваційних технологій у сегменті інформаційних технологій.

Результати дослідження можуть стати важливим джерелом відповідної стратегічної інформації для подальшого удосконалення "хмарно-віртуальних" середовищ та розвитку інноваційних технологій у сегменті інформаційних технологій.

Ключові слова: хмарна інфраструктура, хмарні сервіси, інтеграція хмарних сервісів, взаємодія програмних рішень, симуляція.

Вступ / Introduction

У сучасному динамічному світі інформаційних технологій об'єднання віртуальної реальності та хмарних технологій стає неабияким викликом для дослідників та практиків у різних галузях науки та промисловості. Однак, незважаючи на швидкий розвиток обох напрямів, питання їх інтеграції залишаються актуальними та становлять науковий і практичний інтерес.

Незважаючи на великий обсяг вже наявної інформації, інтеграція хмарних технологій у віртуальну реальність залишається предметом обговорень у науковій спільноті.

Актуальність дослідження полягає в аналізі, описанні та розробленні рішення, що дасть змогу об'єднати переваги, хмарних сервісів, такі як глобальна доступність, масштабованість, швидкість та гнучкість налаштування, для їх застосування у рішеннях систем віртуальної реальності.

Об'єкт дослідження – процеси інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність, що становить неабиякий виклик для дослідників та практиків у різних галузях науки та промисловості.

Предмет дослідження – методи і засоби інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність та їх взаємодія з наявними системами. У цьому контексті важливо дослідити технічні, архітектурні та інфраструктурні аспекти, що впливають на якість та ефективність такої інтеграції.

Мета роботи – аналіз, описання та розроблення рішення, що дасть змогу об'єднати переваги хмарних сервісів, такі як глобальна доступність, масштабованість, швидкість та гнучкість налаштування, для їх застосування у системах віртуальної реальності. Незважаючи на швидкий розвиток обох напрямів, питання їх інтеграції залишаються актуальними та становлять науковий і практичний інтерес.

Для досягнення вказаної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- аналіз сучасного стану інтеграції VR та хмарних технологій: визначення досягнень та викликів у цьому напрямі;
- визначення архітектурних рішень для інтеграції: розгляд можливих моделей та структур, що дадуть змогу оптимізувати взаємодію між хмарними ресурсами та віртуальною реальністю;
- дослідження впливу інтеграції на продуктивність та якість VR: оцінювання ефективності та якості віртуального досвіду в разі використання хмарних технологій;
- застосування новітніх програмних рішень для VR у хмарному середовищі: створення рішень, що максимально використовують можливості хмарних технологій та роботу віртуальної реальності.

Матеріали та методи дослідження. У контексті сучасного поступового розвитку технологій об'єднання віртуальної реальності та хмарних технологій стає актуальним завданням для дослідників. Ця сфера привертає значний інтерес, оскільки відкриває нові можливості для розширення функціоналу та ефективності віртуального досвіду.

Опубліковано чимало наукових праць [1], [2], [3], [4], у яких проаналізовано окремі аспекти віртуальної реальності та хмарних технологій. У цих наукових працях розглянуто технічні та архітектурні аспекти обох технологічних напрямів, а також їхні застосування у різних галузях, від освіти та медицини до розваг та бізнесу. Проте інтеграція хмарних технологій у віртуальну реальність залишається сферою, яка потребує подальших досліджень та уточнень, щоб розкрити можливості та подолати труднощі, що виникають у разі їх об'єднання.

У межах цієї наукової роботи здійснено огляд літератури [1], [2], [3], [4] вивчення технічних та архітектурних аспектів інтеграції VR та хмарних технологій.

Для оцінювання впливу інтеграції на продуктивність та якість VR проведено експеримент із використанням VR-платформи на основі ігрового рушія Source та можливостей хмарного провайдера Amazon Web Services. Здійснено вибір програмних рішень для взаємодії із хмарними ресурсами у VR. Використано інструменти розробки, такі як SRCDS, Source SDK, AWS SDK та програмні засоби Oculus, Steam VR, Garry's Mod.

Проаналізовано аспекти безпеки та конфіденційності в хмарних середовищах VR.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Актуальність інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність є ключовою у сучасному світі, оскільки ці технології визначають новий рівень взаємодії з інформацією та створюють унікальний віртуальний досвід. Компанії та дослідницькі групи звертають увагу на можливість інтеграції хмарних сервісів у віртуальні середовища з метою підвищення функціональності, продуктивності та доступності для користувачів.

Фінські науковці Teemu Kamarainen, Matti Siekkinen, Jukka Eerikainen та Antti Ylä-Jaaski [1] детально описали систему CloudVR (хмарної віртуальної реальності), яка розроблена для створення інтерактивного віртуального

досвіду на мобільних пристроях за допомогою хмарних технологій. Вони розглянули різні методи оптимізації та зниження рівня обчислювального навантаження, а також розрахували та вказали вимоги до пропускної здатності між клієнтом та сервером програмного рішення. Описано результати досліджень щодо сприйняття затримок у мережі, які вказують на те, що навіть доволі значні затримки (100–200 мс) малопомітні для користувачів, якщо вони прямо не взаємодіють з об'єктами.

Sihao Zhao, Hatem Abou-zeid, Ramy Atawia, Yoga Suhas Kuruba Manjunath, Akram Bin Sediq та Xiao-Ping Zhang проаналізували [2] характеристики трафіку віртуальної реальності для ігор у хмарних сервісах. Вони визначили, що такі параметри, як розмір кадру, час між надходженням кадрів та затримка, необхідно детально вивчити для забезпечення масштабованих хмарних сервісів. Для цього автори побудували тестове середовище, використовуючи хмарний сервер і бездротовий маршрутизатор, та збрали й обробили дані трафіку VR із різних ігор за різних умов мережі та за різних схем кодування відео.

Дослідники Anderson Augusto Simiscuka, Tejas Moreshwar Markande, Gabriel-Miro Muntean пропонують [3] новий підхід до синхронізації пристроїв у соціальних мережах віртуальної реальності через хмарні сервіси. Автори розглядають проблеми синхронізації в умовах інтернету речей (IoT), використовуючи хмарний підхід для ефективного обміну даними та оптимізації досвіду віртуальної взаємодії.

Alberto Giarretta ставить питання безпеки та конфіденційності у віртуальних середовищах, систематизує й аналізує різні методи та стратегії забезпечення приватності [4]. Його праця спрямована на визначення сучасних викликів та розроблення нових підходів до захисту особистих даних у віртуальному середовищі.

Дослідники Huaping Xiong, Dawei Li, Kun Huang, Mu Xu, Yin Huang, Lingling Xu, Jianfei Lai, Shengjun Qian розглядають [5] оптимізацію використання хмарних ресурсів у віртуальних додатках, оскільки розроблення програмних рішень для взаємодії з хмарними сервісами дає можливість підвищити продуктивність та ефективність віртуального середовища.

Аспекти цих досліджень вказують на те, що інтеграція хмарних технологій у віртуальну реальність вирішує проблеми синхронізації, безпеки та оптимізації ресурсів, що робить її важливим напрямом дослідження. Це відкриває можливості для розроблення нових архітектур, стратегій та програмних рішень для забезпечення ефективності та якості віртуального досвіду в умовах хмарних технологій.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Огляд хмарних сервісів для оброблення та зберігання великих обсягів даних у віртуальній реальності відкриває перед дослідниками та розробниками важливі аспекти, які уможливають підвищення ефективності та покращення якості віртуального досвіду.

Сучасна динаміка розвитку VR вимагає обчислювальної потужності та інфраструктури для оптимального оброблення та зберігання великих обсягів даних. Популярні хмарні сервіси відіграють ключову

роль у розв'язанні цих завдань. Однією з їх архітектурних переваг є гнучкість сервісів, тобто можливість налаштовувати конфігурації обчислювальних ресурсів відповідно до потреб конкретного сценарію.

У межах оброблення великих обсягів даних хмарні сервіси відкривають можливості для ефективного використання алгоритмів стиснення, паралельних обчислень та оптимізації передавання даних. Це особливо важливо для забезпечення іммерсивного віртуального досвіду, де кожен елемент даних має велике значення для взаємодії користувача з віртуальним світом. Вони забезпечують не лише надійність та резервне копіювання, але й інтеграцію із сучасними системами забезпечення безпеки, що необхідно для захисту конфіденційності та цілісності даних у віртуальному просторі, де важливо забезпечити високий ступінь довіри користувачів до використаної технології.

Хмарні сервіси необхідно визнати ключовим фактором для подальшого розвитку і вдосконалення технологій віртуальної реальності, оскільки вони надають необхідну інфраструктуру та інструменти, завдяки яким дослідники та розробники мають змогу зосередитися на створенні ще ефективнішого та захопливішого досвіду. Їх інтеграція у системи VR стикається із численними викликами, потребує ретельного аналізу та розроблення стратегій для подолання труднощів, які можуть виникнути. Один із ключових викликів – це забезпечення достатньої обчислювальної потужності та ефективного управління великими обсягами даних, що визначаються у віртуальному середовищі. Спрощення доступу до обчислювальних ресурсів хмарних платформ може виявитися важливим завданням для забезпечення швидкодії та стабільності віртуальних додатків. Оптимізація обчислювальних завдань, розподіл ресурсів та масштабування допоможуть подолати цей виклик, забезпечуючи необхідну потужність для плавної роботи.

Для передавання та оброблення великих обсягів графічних та сенсорних даних у реальному часі хмарні технології повинні забезпечувати низьку затримку передавання даних та високу швидкість обчислення, для створення якісного іммерсивного віртуального досвіду. Використання алгоритмів стиснення та оптимізації передавання даних може допомогти подолати ці обмеження.

Забезпечення безпеки віртуального середовища – це надзвичайно важливий аспект будь-якої інформаційної технічної інфраструктури, оскільки велика частина даних обробляється та зберігається у віддалених системах, виникає необхідність високого рівня захисту та цілісності приватних даних користувачів. Кінцеве шифрування, механізми авторизації та аутентифікації повинні бути невід'ємними елементами будь-якого рішення.

Однією із ключових проблем є висока вартість використання хмарних технологій. Оптимізація та раціоналізація використаних ресурсів, а також розроблення та застосування ефективних тарифних планів можуть допомогти знизити економічні ризики як для експериментаторів, так і для комерційних рішень.

Розробники та дослідники, що працюють у цій сфері, повинні бути готові до постійних змін у

технологічному ландшафті та вирішувати виклики, пов'язані зі швидким розвитком як хмарних технологій, так і віртуальної реальності.

Забезпечення належної підготовки та навчання персоналу, який працюватиме із хмарними технологіями та системами віртуальної реальності, є критично важливим фактором для успішної реалізації проєктів. Це передбачає комплексне навчання працівників основам хмарних обчислень, технологіям віртуальної реальності, методам їх інтеграції, а також принципам управління та адміністрування інтегрованих систем. Регулярне підвищення кваліфікації та ознайомлення з новітніми рішеннями допоможе команді ефективно експлуатувати і розвивати хмарні інтеграції. А саме створення віддаленої інфраструктури, в будь-якому популярному хмарному провайдері, наприклад, Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google Cloud Platform (GCP) або DigitalOcean (DO), для оптимізації обчислювальних завдань у віртуальній реальності визначатиметься низкою ключових технологічних аспектів, спрямованих на підвищення продуктивності, ефективності та поліпшення якості віртуального досвіду.

Для виконання цього дослідження застосовано ресурси та сервіси Amazon Web Services, оскільки, насамперед, AWS пропонує гнучкі обчислювальні ресурси, що дають змогу відповідати специфічним потребам VR-додатків, а використання Elastic Compute Cloud (EC2) і GPU-екземплярів забезпечує високопродуктивні обчислення, необхідні для оброблення графічних та обчислювальних завдань у режимі реального часу.

Цей провайдер також забезпечує рішення для ефективного зберігання та оброблення великих обсягів даних. Amazon Simple Storage Service (S3) для зберігання та Amazon Glacier для довгострокового архівування гарантують оптимальне управління обсягами даних та забезпечують їх доступність.

Загальний підхід до створення хмарної інфраструктури полягає у поєднанні гнучкості, високої продуктивності та ефективності обчислень з автоматизованим управлінням ресурсами та інтеграцією з передовими технологіями контейнеризації. Це робить AWS хорошим вибором для дослідників та розробників, які прагнуть оптимізувати та пришвидшити розроблення та використання інноваційних технологій.

Розроблення хмарної інфраструктури та використання програм для віртуальної реальності в хмарі є актуальним напрямом досліджень і розвитку, враховуючи стрімкий розвиток як хмарних технологій, так і сегмента віртуальної реальності.

У цьому дослідженні акцент зроблено на використанні саме хмарного провайдера для створення інфраструктури та розглянуто деталі реалізації VR-додатків, зокрема Garry's Mod з додатковою модифікацією для підтримки рішень віртуальної реальності.

Основним компонентом інфраструктури є сервіс Elastic Compute Cloud, він надає обчислювальні ресурси, які можна масштабувати залежно від навантаження.

Для збереження даних та резервних копій застосовано Simple Storage Service – службу для зберігання копій даних та важливих файлів.

Для забезпечення безпеки та ізоляції ресурсів використовується сервіс Virtual Private Cloud (VPC), що

дає змогу створювати власні віртуальні мережі, піднімати віртуальний мережевий екран (фізичний або програмний застосунок, пропускати та блокувати мережевий трафік за допомогою набору правил безпеки) [6].

Сервер віртуальної реальності реалізовано на основі програмного рішення Garry's Mod, популярного продукту із відкритим кодом та великою спільнотою розробників. Для підтримки технології віртуальної реальності застосовано модифікацію, що дає змогу інтегрувати віртуальну реальність, створюючи іммерсивний інтерактивний досвід.

Щодо технічних характеристик: застосовано віртуальну машину (сервіс EC2) типу t3.medium (економні сервери загального призначення з підвищеною продуктивністю), з чотирма ядрами Intel Zeon E5 2686 v5 (покоління SkyLake) з тактовою частотою 3,1 GHz та 4 гігабайтами оперативної пам'яті формату DDR4 (четверте покоління синхронної динамічної пам'яті з довільним доступом). Для збереження постійних та тимчасових даних був приєднаний віртуальний диск (сховище) типу gp2, на основі SSD (твердотільного накопичувача) з продуктивністю 3000 IOPS (кількість операцій введення – виведення за секунду) та швидкістю лінійного читання чи записування близько 250 MB/s (мегабайт за секунду).

Програмна частина – операційна система Ubuntu 22.04 LTS (дистрибутив, з відкритим кодом, на базі GNU/Linux), рішення Source Dedicated Server (SRCDS), програмне забезпечення, використовуване для створення та управління власними серверами на базі рушія Source) та SteamCMD (інструмент командного рядка, що дає змогу адміністраторам серверів керувати та взаємодіяти із платформою Valve та програмним забезпеченням, таким як SRCDS) [7].

Створення хмарної інфраструктури для забезпечення роботи технологій віртуальної реальності передбачає кілька кроків для забезпечення ефективної роботи всіх елементів системи.

Для розгортання інфраструктури необхідно налаштувати віддалену мережу, створити віртуальні сховища, розгорнути віртуальний сервер та налаштувати його підключення і взаємодію із хмарними сервісами, отримати доступ та налаштувати сервер, здійснити

запуск програмної частини з додатковою конфігурацією.

Найближчим доступним центром оброблення даних AWS (для західної частини України) є eu-north-1, що розташований у Стокгольмі, Швеція. Проте експеримент виконано в регіоні us-east-1, розміщеному в окрузі Північної Вірджинії в Сполучених Штатах Америки. Цю локацію вибрано не випадково, оскільки однією із головних цілей експерименту є можливість продемонструвати гнучке та глобальне застосування технології (у форматі “будь-де та будь-коли незалежно від місцезнаходження”) віртуальної реальності в поєднанні з сервісами хмарних обчислень, навіть якщо ресурси для таких обчислень розміщені на іншому континенті.

Завдяки використанню цього віддаленого регіону вдалося експериментально підтвердити можливість глобальної доступності такого рішення, визначити час відгуку та оброблення даних сервера, який становив 131–155 мілісекунд, що можна вважати непоганим та допустимим значенням для рішень, які взаємодіють із користувачем у реальному часі. Додатково таке рішення тимчасово упроваджувалося в регіоні eu-north-1 (Стокгольм, Швеція), де час відгуку становив 44–65 мілісекунд, що є чудовим показником, який дає змогу використовувати віддалені сервери системи віртуальної реальності для будь-яких завдань.

Рішення, наведене в цій роботі, необхідно поділити на серверну частину, розгортання ресурсів та рішення у хмарному сервісі, та клієнтську частину (запуск програми-симуляції на локальному комп'ютері з передавання аудіо- та відеопотоку).

Для реалізації серверної частини, із використанням сервісів AWS, виконано:

1. Налаштування віддаленої мережі, сервіс VPC (рис. 1):

- створено нову Virtual Private Cloud в консолі AWS;
- визначено підмережі та налаштовано правила роутингу (маршрутизації), доступ до інтернету через інтернет-шлюз;
- здійснено конфігурацію Network Access Control Lists (NACLs) та Security Groups (віртуальні фаєрволи для підмереж та кінцевих ресурсів) для контролю трафіку.

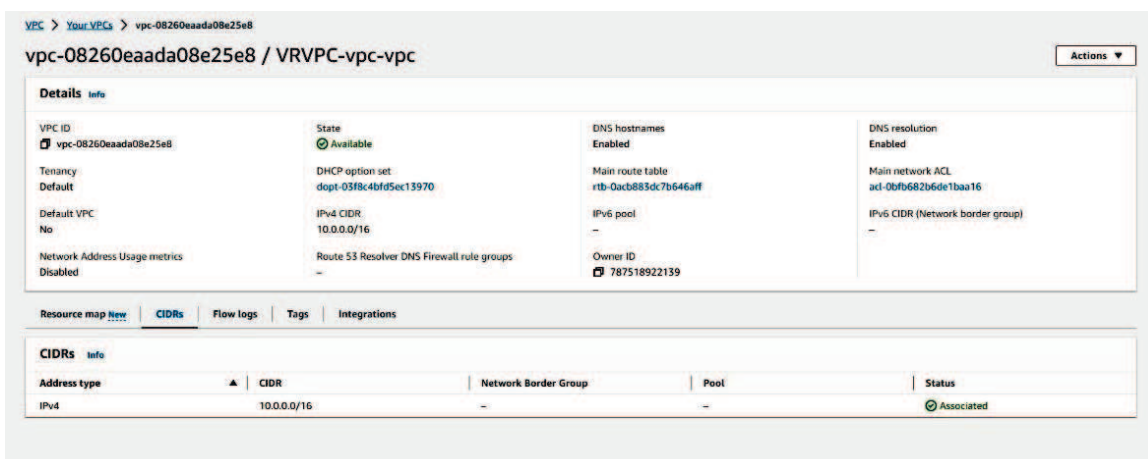


Рис. 1. Віртуальна мережа / Virtual network

2. Створення та налаштування EC2 віртуальної машини (рис. 2):

- створено EC2 Instance (віртуальний сервер) з вибором відповідного образу операційної системи, регіону, архітектури, типу віртуальної машини та ресурсів, розміру та кількості дисків, мережі та підмережі, мережевих правил;
- налаштовано віддалений доступ із використанням приватних і публічних ключів для безпечної авторизації та аутентифікації до віртуальної машини.

3. Застосування віртуального сховища, бакета, використання сервісу S3 (рис. 3):

- створено сховище під назвою vr-cloud-experiment-so35 з локальним доступом;
- встановлено AWS Command Line Interface (CLI) для доступу до цього сервісу;
- налаштовано доступ до AWS S3 із використанням ключів та конфігураційних файлів.

4. Встановлення та конфігурація Garry's Mod сервера (рис. 4):

- використано написаний скрипт для автоматичного встановлення та налаштування Garry's Mod сервера та його розгортання на віртуальну машину;
- здійснено конфігурацію параметрів сервера.

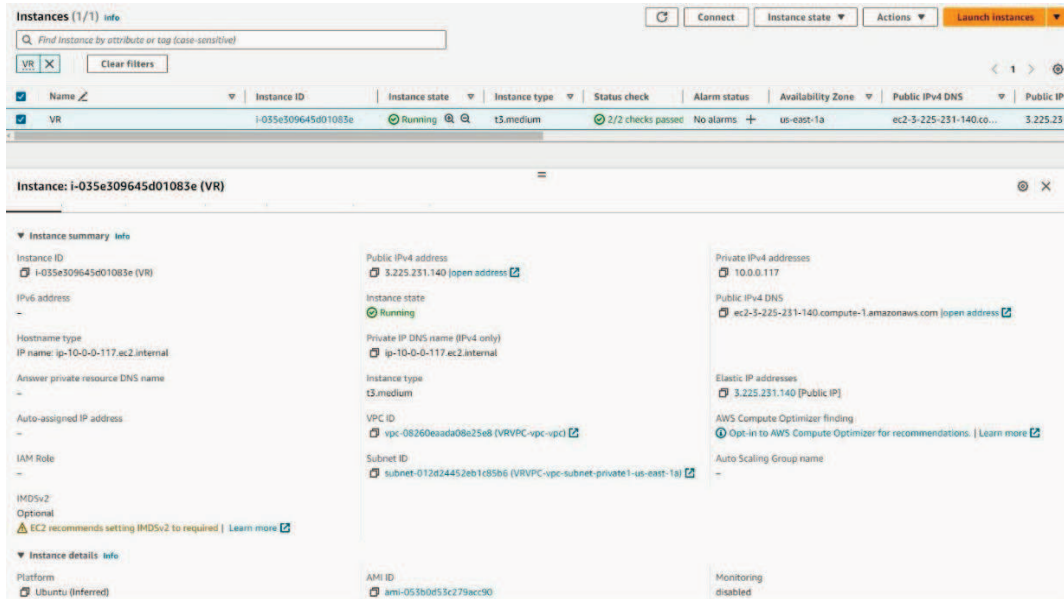


Рис. 2. Віртуальна машина / Virtual machine



Рис. 3. Віртуальне сховище / Virtual storage

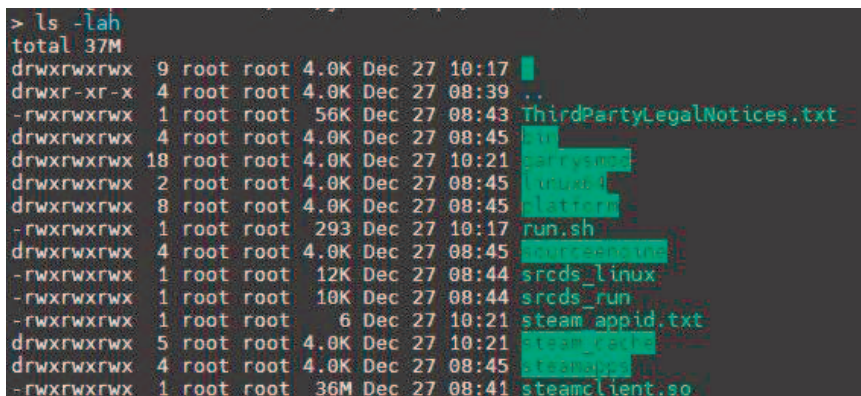


Рис. 4. Каталог із чистим сервером / Catalogue with a clean server

5. Бекап (операція збереження резервної копії) та відновлення бази даних та файлів даних, під час повторного запуску рішення (рис. 5):

- запущено бекап бази даних та необхідних конфігураційних файлів із сервера рішення Gary's Mod у створене сховище;
- виконано зберігання даних у вказаному репозиторії S3 у межах хмарного провайдера.

6. Запуск програмного рішення (рис. 6):

- виконання програми SRCDS, перевірка логів (журналів) та статусу сервісів.

Додатково здійснено вертикальне масштабування (збільшення або зменшення ресурсів на окремому сервері або віртуальній машині) під час виконання експерименту. Змінено тип та ресурс віртуальної машини, з t3.medium на t3.large (надає додаткові 4 гігабайти оперативної пам'яті), для забезпечення більшого обсягу оперативної пам'яті та ширшого простору для виконання обчислювальних операцій (це яскравий приклад гнучкості хмарних технологій).

```
> ls garrysmod/ -lah
total 750M
drwxrwxrwx 18 root root 4.0K Dec 27 10:21
drwxrwxrwx 9 root root 4.0K Dec 27 10:17
-rw-rw-r-- 1 ubuntu ubuntu 16 Dec 27 10:15 GameState.txt
drwxrwxrwx 3 root root 4.0K Dec 27 09:40 addons
drwxrwxrwx 2 root root 4.0K Dec 27 08:45 backgrounds
drwxrwxrwx 2 root root 4.0K Dec 27 08:45 bin
drwxrwxrwx 4 root root 4.0K Dec 27 09:44 cache
drwxrwxrwx 2 root root 4.0K Dec 27 10:06 cfg
drwxrwxrwx 5 root root 4.0K Dec 27 10:11 data
-rwxrwxrwx 1 root root 31K Dec 27 08:41 detail.vbsp
drwxrwxrwx 2 root root 4.0K Dec 27 09:44 downloadlists
drwxrwxrwx 2 root root 4.0K Dec 27 08:45 fallbacks
-rwxrwxrwx 1 root root 54M Dec 27 08:42 fallbacks_000.vpk
-rwxrwxrwx 1 root root 195K Dec 27 08:42 fallbacks_dir.vpk
-rwxrwxrwx 1 root root 1.2K Dec 27 08:42 gameinfo.txt
drwxrwxrwx 6 root root 4.0K Dec 27 09:29 gameobjects
-rwxrwxrwx 1 root root 16 Dec 27 08:42 garrysmod.ver
-rwxrwxrwx 1 root root 233M Dec 27 08:42 garrysmod_000.vpk
-rwxrwxrwx 1 root root 232M Dec 27 08:44 garrysmod_001.vpk
-rwxrwxrwx 1 root root 232M Dec 27 08:44 garrysmod_002.vpk
-rwxrwxrwx 1 root root 487K Dec 27 08:44 garrysmod_dir.vpk
drwxrwxrwx 6 root root 4.0K Dec 27 08:45 hwm
-rwxrwxrwx 1 root root 1.9K Dec 27 08:42 lights.rad
lua
maps
modelsounds.cache
particles
resources
scenes
settings
stats.txt
steam.inf
sv.db
```

Рис. 5. Готове програмне рішення / A complete software solution

```
#####
// ULX Admin Mod
//
// Loading...
// sh_defines.lua
// lib.lua
// base.lua
// sh_base.lua
// log.lua
// MODULE: slots.lua
// MODULE: uteam.lua
// MODULE: votemap.lua
// MODULE: xqui_server.lua
#####
// ULX GUI -- by Sticky Man
//
// Adding Main Modules...
// bans.lua
// commands.lua
// groups.lua
// maps.lua
// settings.lua
// Adding Setting Modules...
// client.lua
// server.lua
// Adding Gamemode Modules...
// sandbox.lua
// Loading Server Modules...
// sv_bans.lua
// sv_groups.lua
// sv_maps.lua
// sv_sandbox.lua
// sv_settings.lua
// XQUT modules added!
#####
// MODULE: chat.lua
// MODULE: fun.lua
// MODULE: menus.lua
// MODULE: rcon.lua
// MODULE: teleport.lua
// MODULE: user.lua
// MODULE: userhelp.lua
// MODULE: util.lua
// MODULE: vote.lua
// end.lua
// Load complete!
#####
Making workshop gamemode available for client download
ConVarRef room type doesn't point to an existing ConVar
Executing dedicated server config file server.cfg
Using map cycle file cfg/mapcycle.txt.
Initializing Steam libraries for secure Internet server
[5:API SteamAPI_Init(): Loaded local 'steamclient.so' OK.
CAppInfoCacheReadFromDiskThread took 0 milliseconds to initialize
dllopen steamservice.so failed: steamservice.so: cannot open shared object file: No such file or directory
SteamInternal_SetMinidumpSteamID: Caching Steam ID: 76561197960265728 [API loaded no]
Logging into Steam game server account
Connection to Steam servers successful.
Public IP is 3.225.231.140.
```

Рис. 6. Запущений сервер / Launched server

Для розгортання хмарної інфраструктури написано невелику програмну конфігурацію на мові YAML та запущено сервісом AWS CloudFormation, що відповідає за швидке розгортання та видалення всіх елементів системи за допомогою коду [8].

Під час налаштування програмної частини експерименту здійснено віддалене підключення до віртуальної машини, запущено процеси оновлення коментів системи, додано репозиторій зовнішніх пакетів (додатків), створено каталог, встановлено та налаштовано основні й додаткові програмні компоненти, такі як: AWSCLI, STEAMCMD, SRCDS.

Для автоматизації цих процесів розроблено Bash-код [8], тобто скрипт, що містить послідовності команд, які виконуються в оболонці Bash/SH операційної системи Ubuntu 22.04 LTS.

Застосування хмарних технологій уможливило швидке розгортання та налаштування віртуальної чи фізичної комп'ютерно-обчислюваної інфраструктури, виконання операцій та запитів від підключених програмних клієнтів. Змінюючи параметри серверів, можливо в режимі реального часу контролювати використання ресурсів та масштабувати їх, у разі появи високих обчислюваних завдань чи великої кількості підключень.

Підходи хмарних провайдерів дають можливість гнучко масштабувати інфраструктуру залежно від потреб VR-додатка, забезпечуючи високу доступність та продуктивність системи.

Для виконання цього експерименту застосовано комп'ютер, що виконував роль клієнта, який перебував на відстані декількох тисяч кілометрів від сервера, де виконуються всі обчислення та збереження необхідної інформації.

Клієнтська частина складається із персонального комп'ютера на основі операційної системи Windows 10, а також гарнітури віртуальної реальності Oculus Quest 2. Для синхронізації даних між вказаними пристроями застосовано програмне рішення Oculus, яке відповідало за правильне налаштування і роботу гарнітури.

Сам пристрій Oculus Quest 2 відповідав за аналіз та передавання телеметрії, опрацювання аудіо- та відео-візуалізації. Рішення Garry's Mod виконувало підключення

до серверної частини (SRCDS), розміщеної на стороні хмарного провайдера.

Завдяки відкритому програмному коду здійснено модифікацію продукту Garry's Mod, використано додаткове стороннє рішення під назвою VRMod (рис. 7), із незначною зміною коду для оптимізації роботи всіх елементів системи.

Підключення та робота серверної та клієнтської частин були доволі стабільними, а навантаження на обчислювальні ресурси хмарної віртуальної машини доволі низьким, оскільки здійснено тільки одне одночасне підключення із типовими, для Garry's Mod, діями (переміщення по карті, взаємодія з об'єктами).

Для здійснення експерименту із симуляційними елементами вибрано та запущено карту віртуального апартаменту (який не існує). Нижче подано зображення (рис. 8 та 9), які відображають взаємодію експериментатора із середовищем віртуальної реальності.

Більшість обчислень серверної частини рішення Garry's Mod здійснено на стороні хмарного провайдера. Це означає, що основне навантаження з оброблення даних, розрахунків фізики та управління вітальними персонажами відбувалося на сервері, розміщеному в хмарному середовищі. Такий підхід дає змогу ефективно керувати ресурсами, оптимізувати обчислення та забезпечувати стабільну роботу навіть за великої кількості підключень та опрацювання роботи і взаємодій клієнтів.

З іншого боку, клієнтська частина, яка містила персональний комп'ютер та гарнітуру віртуальної реальності Oculus Quest 2, відповідала за обчислювально менш інтенсивні завдання, такі як відображення графіки, відтворення звуку та збереження локальних налаштувань. Головна функція клієнтської частини полягала у забезпеченні іммерсивного досвіду завдяки використанню системи віртуальної реальності, тоді як складні обчислення та керування грою відбувалися на віддаленому сервері.

Отже, завдяки інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність вдалось на практиці довести якість та доступність сервісів VR і продемонструвати нові перспективи для подальшого розвитку цього об'єднання.



Рис. 7. Графічне вікно налаштування у рішенні Garry's Mod / A graphical configuration window in the Garry's Mod solution



Рис. 8. Використання контролерів для передавання та оброблення інформації про положення рук /
The use of controllers to transmit and process hand position information



Рис. 9. Переміщення по віртуальній локації, взаємодія із віртуальними елементами / Navigation in a virtual location, interaction with virtual elements

Обговорення результатів дослідження. Результати дослідження свідчать про великий потенціал інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність. Оптимізація передавання даних, забезпечення безпеки та конфіденційності, а також використання гнучких рішень хмарних сервісів відкривають нові можливості для поліпшення якості та підвищення доступності цих середовищ.

Науковці Mikhail Liubogoshchev, Kamila Ragimova, Andrey Lyakhov, Siyu Tang та Evgeny Khorov [9] досліджували ці питання детальніше, ставили вимоги щодо надійності передавання даних, пропускну здатності та затримок у передаванні між хмарним сервером та кінцевими користувачами. Дослідники розробили аналітичну модель комунікаційної системи, яка оцінює якість враження для користувачів віртуальної реальності в різних сценаріях.

У поставленому експерименті (описаному в попередньому розділі) сервери хмарної інфраструктури були розміщені в регіоні us-east-1, тобто окрузі Пів-

нічної Вірджинії в Сполучених Штатах Америки, а обладнання (клієнтської частини) у Львові (Україна). Найближчим доступним центром оброблення даних AWS був eu-north-1, Стокгольм, Швеція. Завдяки використанню доволі віддаленого датацентру, вдалося підтвердити можливість глобального застосування рішень ВР, визначити час відгуку та оброблення даних, що становив 131–155 мілісекунд. Ці затримки між клієнтською і серверною частиною є практично непомітними, дають змогу застосовувати практично будь-які рішення, що взаємодіють із системами чи симуляціями в режимі реального часу.

Серед прикладних застосувань рішень віртуальної реальності в реальному об'єкті варто розглянути роботу Claudio Urrea та Rodrigo Matteoda [10]. Дослідники продемонстрували розроблений симулятор, який відтворює команди роботів SCARA (Selectively Compliance Assembly Robot Arms), застосовуючи середовище ВР, виконує завдання із переміщення прямокутних

об'єктів, координованого за допомогою стратегії, що охоплює сервер хмари, відповідальний за комунікацію між роботами. Це дало змогу застосовувати віддалене керування, незалежно від місцеположення людини, яка керує, схему “оператор – сервер – робот”, тобто використовувати рішення ВР практично будь-де, маючи тільки доступ до мережі зв'язку. Це яскравий приклад переваги застосування хмарних технологій та сервісів, оскільки, як і в описаному в цій роботі рішенні, дає змогу відокремити серверну частину, тобто центр обробки і зберігання даних, надаючи можливість глобального, доступного та простого застосування.

Ще один хороший приклад – стаття авторів Sai Shreya Nuguri, Prasad Calyam, Roland Oruche, Aniket Gulhane, Samaikya Valluripally, Janine Stichter і Zhihai He [11], в якій описано систему vSocial, яка є хмарною платформою для створення віртуальних навчальних середовищ. У цій статті розглянуто аспекти безпеки та конфіденційності, а також описано експерименти та оцінювання ефективності, які показують високий рівень залучення та задоволення користувачів від навчання у віртуальному середовищі. Отримані результати свідчать про успішне виконання освітніх завдань для осіб зі спектра аутизму та задовільні показники щодо користування системою. Наведено принципи проектування для захисту від загроз безпеки, а також розглянуто перспективи подальшого розвитку системи для підвищення ефективності використання в освітніх цілях.

Запропоноване у цій роботі рішення зберігало всі дані в ізольованій мережі, а для отримання приватної інформації застосовувалося підключення через зашифровані канали зв'язку із використанням приватного. Серверна частина була захищена хмарним мережевим екраном, а сховище даних доступне безпосередньо серверу. Клієнт (клієнтське обладнання) виконував підключення тільки на вказаний порт та прямо взаємодіяв із програмним рішенням, що відповідало за приймання, надсилання, аналіз, обробку та збереження необхідної інформації.

Corentin Guerinot, Valentin Marcon, Charlotte Godard1, Thomas Blanc, Hippolyte Verdier, Guillaume Planchon, Francesca Raimondi, Nathalie Boddaert, Mariana Alonso, Kurt Sailor, Pierre-Marie Lledo, Bassam Hajj, Mohamed El Beheiry та Jean-Baptiste Masson описали наукову роботу [12], яка стосувалася використання технологій віртуальної реальності для візуалізації та дослідження тривимірних зображень. Використання технологій віртуальної реальності дало користувачам змогу взаємодіяти із тривимірними даними, що полегшило їх розуміння, однак не вирішило проблему аналізу даних, потребує експертного втручання. У статті запропоновано новий підхід до використання ВР спільно із хмарними обчисленнями для візуалізації, взаємодії та аналізу отриманих результатів. Автори демонструють застосування цього підходу на прикладах мікроскопічних зображень нейронів миші та анотацій органів та пухлин у медичних зображеннях.

Оскільки в цій роботі було використано готове рішення, з відкритим кодом, Gargy's Mod та модифікації, що давали змогу рішенню взаємодіяти із системою віртуальної реальності, розміщеною на стороні клієнта, за оброблення та візуалізацію зображень (що передавались на гарнітуру ВР) відповідав рушій Source.

Дослідники Omar M. Ahmed, Lailan M. Haji, Hanan M. Shukur, Rizgar R. Zebari, Shakir M. Abas і Mohammad A. M. Sadeeq розглянули застосування хмарних обчислень для розв'язання складних наукових задач [13], що потребують створення математичних моделей та числових методів для обчислення великої кількості процедур. Зазначено, що для таких завдань часто потрібно багато часу та ресурсів. Їх можна вирішити за допомогою інфраструктури високопродуктивних обчислень, такої як комп'ютерні кластери. Завдяки використанню хмарних технологій з'являється можливість спрощення таких процедур за допомогою розподілення завдань на сервери, розосереджені по всьому світу, оскільки хмарні провайдери надають широкий спектр інформаційних послуг, їх можна масштабувати залежно від бюджету користувача та вимог до програм.

Запропоноване у цій роботі рішення не використовувало великих обчислюваних ресурсів, оскільки виконувало та обробляло запити тільки від одного клієнта. Проте у ході одночасного виконання десятків чи сотень підключень та оброблення великої кількості даних у режимі реального часу застосування хмарних технологій дасть змогу виконувати гнучке балансування (розподілення) навантаження та вертикальне масштабування (збільшення кількості обчислюваних ядер, кількості оперативної пам'яті, зміну типу фізичних ресурсів), що передбачено та виконано в цьому рішенні.

Додатково необхідно зазначити, що розроблене рішення було упроваджене і в хмарному регіоні eu-north-1, Стокгольм, Швеція, де час відгуку становив 44–65 мілісекунд. Це чудовий показник часу опрацювання та відгуку, що дає змогу використовувати віддалені сервери системи віртуальної реальності для будь-яких завдань у режимі реального часу.

Переваги інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність охоплюють глобальну доступність ресурсів, масштабованість обчислювальних потужностей, швидкість опрацювання даних та гнучкість налаштування середовищ. Вони відкривають нові перспективи для розвитку віртуальної реальності в медичній, освітній, ігровій, спортивній, туристичній та безлічі інших галузей.

Отже, за результатами виконаної роботи сформуємо наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – полягає у комплексному підході до інтеграції хмарних технологій, наданих платформою AWS, у

системи віртуальної реальності. Дослідження розкриває механізми та методи ефективного поєднання переваг хмарних обчислень, таких як гнучкість, масштабованість та оптимізація ресурсів, із можливостями віртуальної реальності. Під час дослідження розроблено спеціалізоване серверне середовище, призначене для забезпечення ефективної підтримки та функціонування VR-рішень. Воно дає змогу оптимізувати обчислювальні процеси, управляти ресурсами та забезпечувати необхідну масштабованість для задоволення вимог сучасних VR-додатків. Результати дослідження демонструють, що використання віддаленої хмарної інфраструктури на основі AWS дає змогу ефективно оптимізувати обчислювальні завдання, необхідні для функціонування віртуальної реальності, та адаптувати VR-рішення до потреб різних сфер застосування.

Практична значущість результатів дослідження полягає у можливості покращення якості та підвищенні доступності рішень віртуальної реальності для користувачів, а також у створенні базового фреймворку для розроблення та управління власними віртуальними серверами. Інтеграція хмарних технологій відкриває нові перспективи для розширення граничних можливостей інноваційного середовища та стимулює подальший розвиток індустрії віртуальної реальності. Такі дослідження можуть бути корисними для інженерів систем, зацікавлених у покращенні якості та підвищенні доступності новітніх розробок і систем VR.

Висновок / Conclusions

Експеримент підтверджує великий потенціал інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність для покращення якості та підвищення доступності цього інноваційного середовища. Завдяки виконанню описаного у статті експерименту вдалося отримати конкретні дані про ефективність застосування хмарних сервісів, а також про можливості їх використання для оптимізації обчислювальних завдань та забезпечення масштабованості.

Аналіз результатів експерименту підтвердив, що застосування хмарних технологій покращує якість досвіду застосування системи VR, забезпечуючи швидкий доступ до потужних обчислювальних ресурсів, що особливо важливо для забезпечення реалістичності та плавності віртуальних інтерфейсів.

Інтеграція хмарних технологій у віртуальну реальність істотно впливає на її якість та доступність, а також відкриває нові перспективи для подальшого розвитку. Швидкий доступ до потужних обчислювальних ресурсів, які надаються у хмарних середовищах, дає змогу оптимізувати опрацювання графіки та забезпечує плавний та реалістичний досвід. Це важливо, щоб забезпечити задоволення користувачів і залучити нові аудиторії до віртуальних середовищ.

Окрім того, інтеграція хмарних технологій сприятиме підвищенню доступності систем VR. Гнучкість та масштабованість цих сервісів дають змогу легко адаптувати інфраструктуру для відповіді на змінні потреби користувачів.

Рекомендовано вести подальші дослідження у сфері інтеграції хмарних технологій у віртуальну реальність

для глибшого розуміння їхнього впливу на якість та доступність. Також важливо розробляти спеціалізовані рішення для оптимізації обчислювальних завдань та підвищення безпеки в хмарно-віртуальних середовищах.

Для успішної інтеграції хмарних технологій у VR необхідно також забезпечити належну підготовку та навчання персоналу, розроблення стандартів безпеки і підтримку спільноти віртуальної реальності та хмарних технологій. Це допоможе забезпечити ефективне використання інноваційних рішень, поліпшить якість та підвищить доступність для усіх користувачів.

References

1. Kamarainen, T., Siekkinen, M., Eerikainen, J., & Yla-Jaaski, A. (2018, October). CloudVR: Cloud accelerated interactive mobile virtual reality. In Proceedings of the 26th ACM international conference on Multimedia, 1181–1189. <https://doi.org/10.1145/3240508.3240620>
2. Zhao, S., Abou-zeid, H., Atawia, R., Manjunath, Y. S. K., Sediq, A. B., & Zhang, X. P. (2021, December). Virtual reality gaming on the cloud: A reality check. In 2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). IEEE, 1–6. <https://doi.org/10.1109/GLOBECOM46510.2021.9685808>
3. Simiscuca, A. A., Markande, T. M., & Muntean, G. M. (2019). Real-virtual world device synchronization in a cloud-enabled social virtual reality IoT network. *IEEE Access*, 7, 106588–106599. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2933014>
4. Giaretta, A. (2022). Security and Privacy in Virtual Reality – A Literature Survey. arXiv:2205.00208.
5. Xiong, H., Li, D., Huang, K., Xu, M., Huang, Y., Xu, L., Lai, J., & Qian, S. (2020). Cloud VR: technology and application. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003090434>
6. Wittig, A., & Wittig, M. (2023). Amazon Web Services in Action: An in-depth guide to AWS. Simon and Schuster.
7. Valve Software Engineers (2023). Source Dedicated Server. Valve Developer Community. Retrieved from: https://developer.valvesoftware.com/wiki/Source_Dedicated_Server
8. Kulyk, Y. (2023). Deploying and configuring cloud infrastructure with AWS CloudFormation and Bash scripts. Retrieved from: https://docs.google.com/document/d/12UK8RKpzUV23pfUgTUShQ_YZB6iO9436HFqEkMHKSZO
9. Liubogoshchev, M., Ragimova, K., Lyakhov, A., Tang, S., & Khorov, E. (2021). Adaptive cloud-based extended reality: Modeling and optimization. *IEEE Access*, 9, 35287–35299. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3062555>
10. Urrea, C., & Matteoda, R. (2020). Development of a virtual reality simulator for a strategy for coordinating cooperative manipulator robots using cloud computing. *Robotics and Autonomous Systems*, 126, 103447. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103447>
11. Nuguri, S. S., Calyam, P., Oruche, R., Gulhane, A., Valluripally, S., Stichter, J., & He, Z. (2021). vSocial: a cloud-based system for social virtual reality learning environment applications in special education. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 16827–16856. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09051-w>
12. Guérinot, C., Marcon, V., Godard, C., Blanc, T., Verdier, H., Planchon, G., ... & Masson, J. B. (2022). New approach to accelerated image annotation by leveraging virtual reality and cloud computing. *Frontiers in Bioinformatics*, 1, 777101. <https://doi.org/10.3389/fbinf.2021.777101>
13. Alzakhali, O., Shukur, H., Zebari, R., Abas, S., & Sadeeq, M. (2020). Comparison among cloud technologies and cloud performance. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 1(2), 40–47. <https://doi.org/10.38094/jastt1219>

INTEGRATION OF CLOUD TECHNOLOGIES INTO VIRTUAL REALITY

Investigated the possibilities of integrating cloud technologies into virtual reality in order to further improve software tools and increase its efficiency and accessibility. Analysed architectural and infrastructure solutions for the use of cloud services, processing and storage of large data in virtual environments.

Conducted a comprehensive scientific study of the possibilities of integrating cloud technologies into virtual reality in order to increase the efficiency and accessibility of this technological segment.

Studied the challenges that arise when integrating cloud technologies, in particular, the problems of delays in data transmission and measures to ensure security and privacy in cloud environments. Considered the necessity of developing a cloud infrastructure in popular cloud services, in particular, Amazon Web Services (AWS), to optimise computing tasks and increase overall efficiency, as well as the possibility of scaling virtual reality technology.

Article considers the possibility of creating a solution for interacting with cloud resources and using virtual reality applications. The services of a cloud provider are used to allocate computing resources, create a data warehouse, create and manage a virtual network, install and configure solutions for deploying and configuring server software components, and conduct an experiment. Evaluated the impact of cloud technology integration on the quality and availability of virtual reality, and provide prospects for the development of this association.

In addition, considered the possibilities of creating optimised solutions for interacting with cloud resources and using virtual reality applications, and assessed the impact of cloud integration on the quality and availability of virtual reality.

Developed a software solution and approach for building a cloud infrastructure, described in detail all the steps of creating and deploying a virtual server and data storage for its interaction with virtual reality systems.

Prospects for the development of such an association open up wide horizons for innovative technologies in the information technology segment.

The results of the study can become an important source of relevant strategic information for further improvement of cloud-virtual environments and development of innovative technologies in the information technology segment.

Keywords: cloud infrastructure, cloud services, integration of cloud services, interaction of software solutions, simulation.

Інформація про авторів:

Батюк Анатолій Євгенович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:**

anatolii.y.batiuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7650-7383>

Кулик Юрій-Марко Романович, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** yurii-marko.r.kulyk@lpnu.ua;

<https://orcid.org/0009-0006-1121-3302>

Цитування за ДСТУ: Батюк А. Є., Кулик Ю. Р. Інтеграція хмарних технологій у віртуальну реальність. *Український журнал інформаційних технологій*. 2024, т. 6, № 1. С. 109–119.

Citation APA: Batiuk, A. Ye., & Kulyk, Yu. R. (2024). Integration of cloud technologies into virtual reality. *Ukrainian Journal of Information Tecnology*, 6(1), 109–119. <https://doi.org/10.23939/ujit2024.01.109>