

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1.6.1

6.1 Method and algorithms of construction of high-reliability terahertz channel infrastructure for 5G mobile communication systems

В реальних умовах при використанні терагерцового діапазону хвиль найбільші труднощі системам 5G NR у більшості випадків привносять рухливі перешкоди, такі як люди і транспортні засоби, які є блокаторами поширення радіосигналу [171,172]. При цьому якщо обладнання тимчасово потрапляє в стан блокування радіосигналу деяким об'єктом, то залежно від середовища розповсюдження сигналу та відстані між мобільним пристроєм і базовою станцією NR BS (англ. New Radio Base Station) цей пристрій може або випасти із зони покриття BS, або знизити свою схему модуляції та кодування таким чином, щоб ймовірність помилки на рівні каналу не перевищувала наперед визначеного цільового значення.

Одним із перспективних напрямів у вирішенні даної проблеми авторами пропонується робоча гіпотеза проведення досліджень щодо інтеграції технологій реконфігурованих інтелектуальних поверхонь та блокчейн з організацією розподілених обчислень для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль. Таким чином, пропонується виключити можливі втрати, а в основному – усунути мережну складову кругової затримки. Для цього одними з нових технологій ІКТ для практичної реалізації є прикордонні системи з множинним доступом (з англ. MEC – Multi-access Edge Computing), туманні обчислення (з англ. Fog computing), технології блокчейн та системи взаємодії пристрій-пристрій (з англ. D2D - Device-to-Device communications) [173,174,175].

При об'єднанні мережевих технологій SDN/NFV, реконфігурованих інтелектуальних поверхонь, інфраструктурних технологій розподілених обчислень (MEC/Fog) і технології блокчейн може бути отриманий позитивний синергетичний ефект, що виявляється в таких особливостях: швидка

масштабованість мережі та хмар, повний контроль потоків передачі даних, слайсинг ресурсів, стійкість, самовідновлення, що забезпечить подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль.

З цієї точки зору для реалізації такої задачі представляє інтерес мікросервісний архітектурний стиль розробки та реалізації Програмного забезпечення (ПЗ), що активно розвивається у останні роки. Дане ПЗ є набір програмних блоків – мікросервісів та логіку їх взаємодії. При цьому, мікросервіс може бути представлений у вигляді цілої підсистеми, що реалізує набір функцій послуги, або досить атомарної структури ПЗ – функції. Рівень «атомарності» та незалежності мікросервісів визначається командою розробки у кожному конкретному проекті, у тому числі враховуючи інструменти розробки програмного забезпечення.

Таким чином, вищезгадана синергія інфраструктурних технологій може бути гармонічно додана архітектурою розробки та принципами розгортання мікросервісного програмного забезпечення послуг, щодо подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах, Особливо у даній тематиці викликає інтерес об'єднання рішень туманних обчислень, блокчейн та мікросервісів.

У цій роботі пропонується нова структура динамічних туманних обчислень, що може враховувати попит послуги у тій чи іншій зоні обслуговування абонентів, забезпечувати міграцію необхідних мікросервісів послуги для подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах. Щодо практичних досліджень, у роботі розглядаються алгоритми К-середніх для визначення центру скупчення користувачів, а також бджолиний алгоритм для визначення пристрою туману, який виконує необхідні вимоги до міграції на нього відповідного мікросервісу для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль.

Інфраструктура архітектурних рішень для високонадійного каналу терагерцового діапазону

На рис. 1 наведено пропонована структура архітектурних рішень взаємодії розподілених обчислень із мікросервісною підтримкою при блокуванні передачі в мобільних системах. Ця структура покликана об'єднати хмарні структури багаторівневих прикордонних обчислень та туманних обчислень, а також мережну інфраструктуру, побудовану на основі технологій SDN/NFV, реконфігурованих інтелектуальних поверхонь, блокчейну, враховуючи, зокрема, рівень оркестрації. Таким чином, об'єднана інфраструктура дозволяє реалізовувати нові підходи до розподілу обчислень, у тому числі на межі мережі та на самих кінцевих пристроях, у тому числі пристроях D2D.

Дане рішення реалізують рівень PaaS і забезпечує необхідну логіку взаємодії всіх мережових та обчислювальних ресурсів (так звана оркестрація), а також на додаток забезпечують накладену бізнес/системну логіку рішень.

В даному випадку розглядається підхід до управління через інфраструктурний інтерфейс (рівень додатків оркестратора обчислювальних ресурсів, рівень додатків контролера(ів) мережі SDN/NFV). Дана можливість дозволяє реалізовувати бізнес-логіку послуг як мережного, так і сервіс-оператора. Але, крім того, завдяки закладеному рівню абстрагування від фізичних ресурсів є можливість створення службових додатків-сервісів, які реалізують системну та бізнес-логіку оператора з управління пристроями підконтрольної інфраструктури.

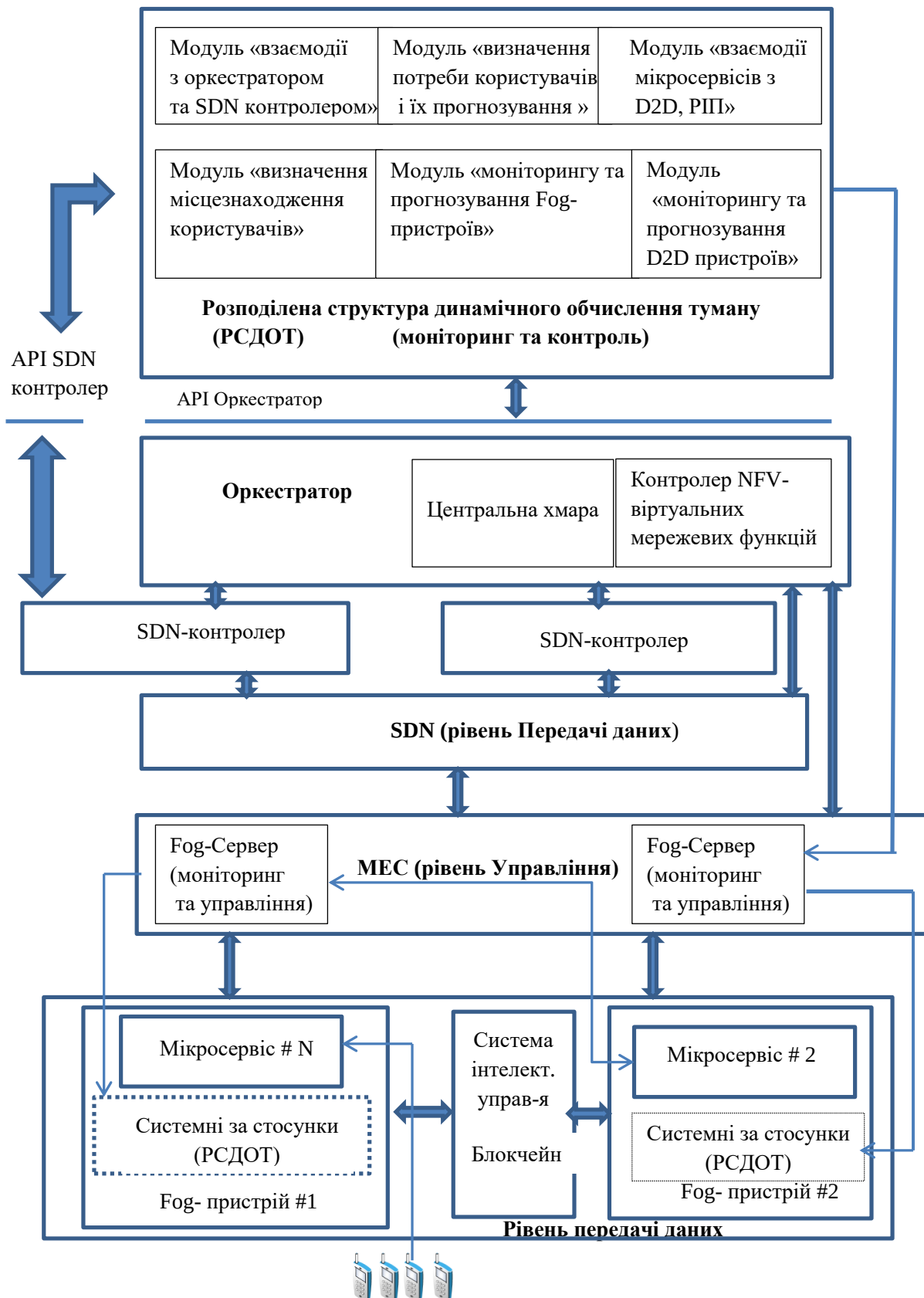


Рис.1. Запропонована інфраструктура архітектурних рішень

Таким чином, запропонована система моніторингу та управління, що є інфраструктурним додатком (програмний комплекс), що реалізує в собі в якості алгоритмів алгоритми машинного інтелекту, дозволяє певною мірою автоматизувати і навіть зробити інфраструктуру інтелектуальною, яка не потребує постійного контролю та управління з боку людей, висококваліфікованих спеціалістів. А також дозволить якісно змінювати структуру мережі з погляду їхньої реакції на дії із зовнішнього боку (зростання або блокування трафіку) - мережа підлаштовуватиметься під поточні потреби, перерозподілятиме навантаження при блокуванні передачі в мобільних системах, враховуючи правила QoS. Крім того, така мережа враховуватиме її потужнісні характеристики, моніторитиме та надаватиме прогнозну аналітику щодо необхідності збільшення/зменшення її потужних параметрів (мережеві ресурси, обчислювальні ресурси об'єднаної хмарної інфраструктури) для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль.

Алгоритм динамічного перерозподілу Fog-пристроїв

Як уже було зазначено вище, в рамках інфраструктури архітектурних рішень передбачається динамічний перерозподіл Fog-пристроїв. Для цього при переході з одного Fog-стільника в іншій або при первинному підключенні, кожен Fog-пристрій надсилає ширококомовний запит з метою виявлення найближчого Micro Cloud структури МЕС. Після виявлення Fog-пристроїв надсилає дані для реєстрації у виявленому Fog-стільнику. Для реєстрації Fog-пристроїв передає такі дані про свої обчислювальні віртуальні ресурси, виділені для передачі їх в оренду, як частина Fog- стільника:

- Центральний процесорний пристрій (кількість ядер та тактова частота ядра). Даний параметр на стороні сервера дозволяє розрахувати продуктивність пристрою (частини виділеної потужності виділеного віртуального простору);
- виділена кількість логічного оперативної обчислювальної пам'яті для віртуального простору;

- виділена кількість логічного постійної обчислювальної пам'яті для віртуального простору;
- Коды активних та доступних технічно бездротових технологій (наприклад, 802.11ax, 5G тощо);
- Дозволена швидкість передачі даних для сторонніх сервісів (цей параметр може бути обмежений з метою збереження якості основного зв'язку для користувача);
- Підтримувана система віртуалізації та оркестрації;
- Підтримуваний формат мікросервісів для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль.

Після цього головний сервер Fog-стільника визначає можливість підключення даного Fog-пристрою із зазначеними параметрами. У разі позитивного рішення Fog-сервер направляє повідомлення-підтвердження очікування підключення Fog-пристрою. Fog-сервер також передає унікальний згенерований внутрішній системний код. Цей код необхідний для подальших процесів взаємодії Fog-пристрою зі статичною хмарною інфраструктурою МЕС. У тому числі для системи управління міграцією мікросервісів додатків з метою однозначної ідентифікації кожного з Fog-пристроїв у Fog-стільниках в умовах їх фізичного переміщення. Після цього повідомлення Fog-сервер здійснює передачу параметрів з'єднання. В результаті, Fog-пристрій, що підключається, відправляє повідомлення-підтвердження Fog-серверу про готовність. Далі, Fog-сервер отримує права на використання у своїх цілях (агрегування) обчислювальних ресурсів, наданих Fog-пристроями обчислювальних та мережеских ресурсів. Варто зазначити, що міні-хмари обчислювальної структури МЕС має отриману інформацію про всі підконтрольні Fog-стільники.

Алгоритм для моніторингу та управління інфраструктурою архітектурних рішень

У даній роботі пропонується розглянути системне завдання щодо визначення центру накопичення користувачів сервісу для забезпечення подолання ефектів блокування передачі, а також одночасного визначення обчислювального потенціалу певного середовища туманних обчислень для визначення пристрою на яке відбуватиметься міграція мікросервісу для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль.

Для вирішення ряду підзавдань у рамках вищеописаної задачі пропонується використовувати набір ефективних алгоритмів обробки даних. Загальний алгоритм, який закладається у інфраструктуру архітектурних рішень, відображено на рис.2.

У цій роботі будуть розглянуті частини алгоритму, виділені штрих пунктиром. Для вирішення завдань, визначених у цьому загальному алгоритмі дій, пропонується дослідити застосування ефективних алгоритмів штучного інтелекту. У досліджуваних завданнях, у рамках цієї роботи, будуть розглянуті алгоритми кластеризації рухомих об'єктів та бджолиний алгоритм, а також методику визначення функціональної залежності між параметрами інфраструктури розробленої мережі.

Завдання визначення центру користувачів

Одним із завдань, згідно з алгоритмом інфраструктури архітектурних рішень, зображеного на рис.2, є періодичним визначенням центру скупчення користувачів. Для здійснення пошуку центру пропонується використовувати алгоритм кластеризації К-середніх (від англ. K-means) [176,177]. Даний алгоритм характеризується простотою реалізації та швидкістю виконання. Апріорними даними є кількість кластерів (задається до початку процесу кластеризації, і його значення має високий вплив на отримання кінцевого результату).

У межах одного Fog-стільника будуть присутні області з різною щільністю скупчення споживачів сервісу, щодо забезпечення подолання ефектів

блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль.

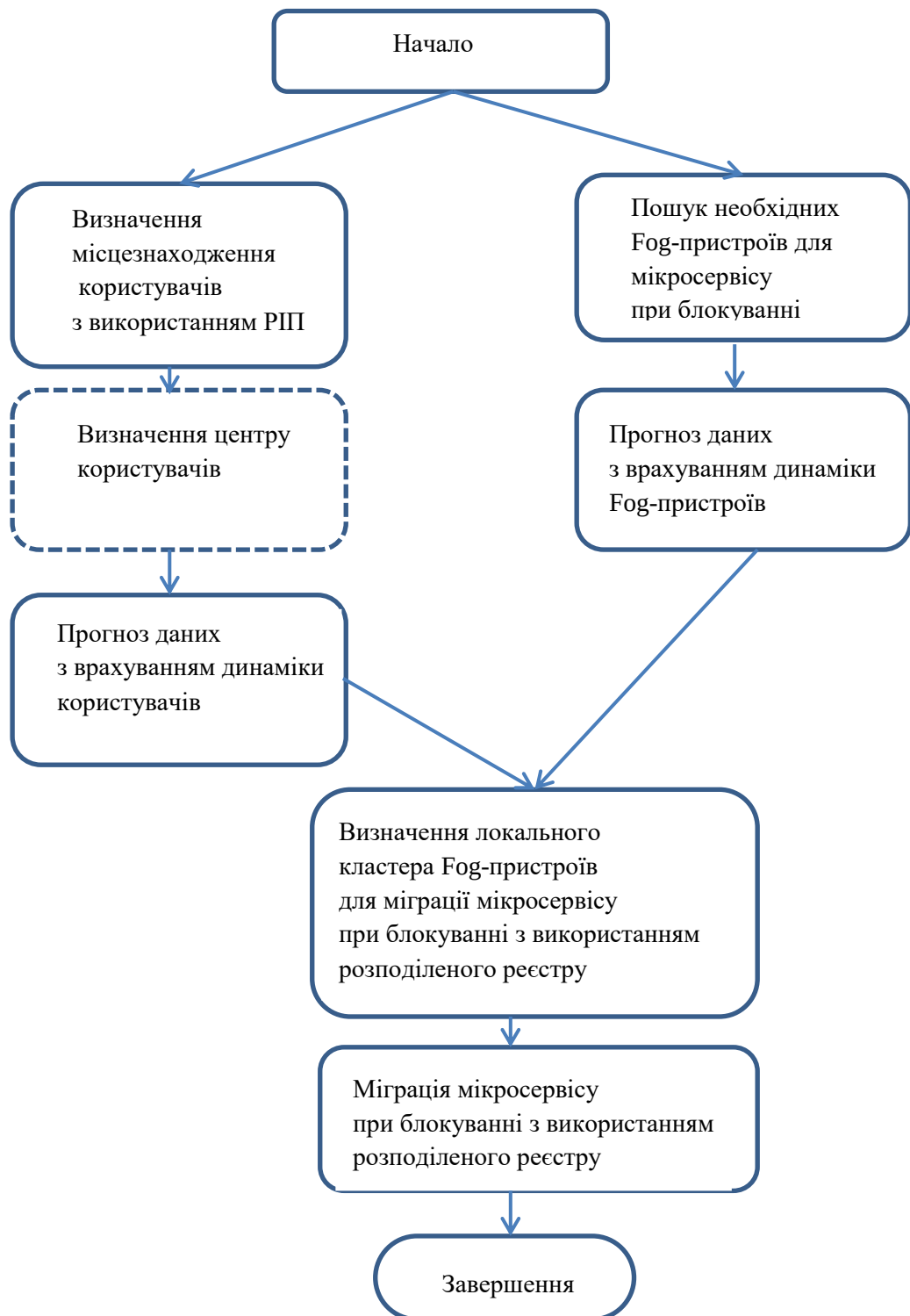


Рис.2. Загальний алгоритм функціонування розробленої інфраструктури

При цьому розміри таких скупчень також не однакові. Тому пошуку центру скупчення користувачів застосовується алгоритм кластеризації К-

середніх. Однією з вихідних умов у рамках даної роботи є статичність пристроїв D2D, смартфонів та інших пристроїв, що утворюють Fog-зони. Також в реальних умовах координати пристроїв і Fog-пристроїв пропонується визначати за допомогою реконфігурованих інтелектуальних поверхонь.

Роботи обраного алгоритму виконуються в наступні чотири кроки:

1. Задаються вхідні дані: координати x , y та z точок. Також задаються кількість кластерів та їх початкові центри. Привласнення користувачів (пристроїв користувача) до найближчих центрів кластерів. Система моніторингу просторових характеристик мережі мобільного зв'язку дає змогу забезпечити гнучкий процес збору даних для аналітичних засобів машинного навчання, не створюючи при цьому надлишкове використання ресурсів. Ключовою відмінністю запропонованої системи моніторингу від традиційних систем, які використовують мобільні мережі є те, що в основі процесу моніторингу є кінцеві абоненти, які здійснюють збір даних про показники ефективності функціонування мереж, включаючи інформацію про рівень задоволеності якістю сервісу. Такий підхід неможливо реалізувати існуючими засобами мобільного моніторингу, які передбачені у стандарті 5G, оскільки вони передбачають централізоване функціонування в мережах домену одного стільникового оператора, що суттєво ускладнить процес узгодження результатів моніторингу між операторами для формування консенсусної бази даних. Така система може базуватися на використанні відомого протоколу MQTT для телеметрії даних безпосередньо на IoT-пристроях абонентів [174].

2. Визначення центрів мас Fog-пристроїв, що входять до кластера.

3. Порівняння центрів мас та передбачуваних центрів кластерів.

4. Якщо центри мас і ймовірні центри кластерів рівні, то центри кластерів вважаються остаточно визначеними і всі приписані до них користувачі позначаються як елементи кластера.

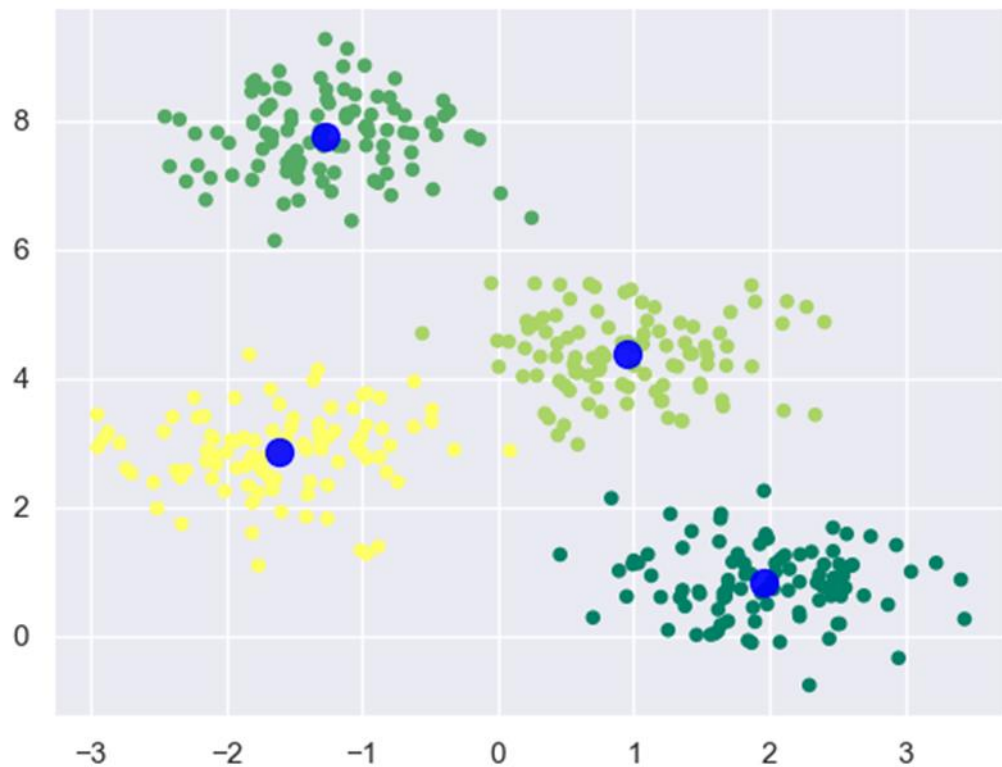


Рис. 3. Приклад результату роботи алгоритму кластеризації К-середніх.

Для подальшого моделювання запропонованого алгоритму було розроблено програмну модель на основі мови Python та відповідних бібліотек Pandas, Matplotlib, Scikit-learn [178]. На стадії моделювання алгоритму К-середніх можна визначити центри скупчення користувачів, а також радіус їхнього розкиду щодо їхнього розташування.

Завдання визначення пристрою туманних обчислень для подальшої міграції мікросервісів для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль.

Другим досліджуваним завданням у рамках даної роботи є завдання визначення тих Fog-пристроїв, які мають вільні необхідні обчислювальні можливості та задовольняють умовам міграції на них мікросервісу для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль з подальшим розгортанням

та включенням у загальну архітектуру. В рамках даного підпроцесу інфраструктурі архітектурних рішень необхідно вирішити задачу оптимізації: для заданої функції, що описує стан Fog-пристроїв через набір параметрів серед усіх можливих значень цієї функції необхідно знайти таке значення, при якому ця функція набуває максимальних значення. Градієнтні алгоритми не можуть впоратися з оптимізацією такої функції, тому що їхнє рішення зійдеться до найближчого екстремуму біля початкової точки [179]. Для задач знаходження глобального максимуму чи мінімуму використовують так звані алгоритми глобальної оптимізації. До одного з таких алгоритмів належать бджолиний алгоритм [180]. Він був розроблений на підставі принципу поведінки біологічних організмів, зокрема, здатності груп бджіл працювати як єдине ціле. Основна ідея парадигми методу бджолиної колонії взята з поведінки бджіл при пошуку місць, де можна знайти якомога більше нектару.

Алгоритм для раціонального вибору Fog-пристроїв

Для вирішення поточного завдання в цій роботі були визначені параметри, що описують Fog-вузол з метою забезпечення якості обслуговування. Глобально завдання сформульовано так: необхідно підтримувати термін обслуговування за рахунок вибору Fog-вузла, на який необхідно мігрувати мікросервіс. Таким чином, мінімізована фітнес-функція виглядає так:

$$T = \sum_{i=1}^N W_i t_i, \quad (1)$$

де:

T - параметр, що розраховується,

W - вага відповідного параметра,

t_i -- параметри, що описують стан Fog - пристрої,

n - кількість таких параметрів.

У даній роботі використовуються три параметри:

t_1 - затримка розповсюдження,

t_2 - час обробки запиту мікросервісу,

t_3 - час обробки запиту блокчейном.

Перший параметр визначається через тайм-трекер лише на рівні інфраструктури архітектурних рішень. А другий і третій параметри визначається пристроєм - час обробки завдань.

Для досягнення задачі підвищення якості надання послуги для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль необхідно встановити функціональну залежність між параметрами мережі, тобто потрібно визначити вплив показників ефективності (t_1, t_2, t_3) на ключовий показник якості T .

Задача встановлення функціональної залежності між параметрами мережі t_1, t_2, t_3 та T будемо вирішувати шляхом використання сплайнів [181]. Сплайн – це функція, що складається з фрагментів однакового виду, котрі зшиті між собою. Це одна з ключових ознак сплайнів, що відрізняє його від інших функцій. Існують різні способи побудови сплайнів на основі їх різновидів [182]. Проте, найбільший інтерес викликають локальні кубічні ермітові сплайни (КЕС). Для побудови його знаходяться вузли склейки таким чином, що сплайн на всьому інтервалі задовольняється умовами методом найменших квадратів:

$$\sum_{i=1}^N [S_{pi} - y_i] = \min, \quad (2)$$

де N - кількість відліків на інтервалі, що спостерігається;

i – порядковий номер відліку;

S_{pi} – сплайн;

y_i – вхідні дані.

Визначив формулу (2) забезпечуємо, що сумарне квадратичне відхилення сплайну від функції, що апроксимується y_i буде мінімальним.

Методика визначення функціональної залежності між параметрами інфраструктури розробленої мережі

Крок 1. Представлення значень вимірних параметрів t_1, t_2, t_3 у матричному вигляді.

Крок 2. Розраховуємо матрицю планування P котра має блочно-діагональну структуру внаслідок локальних властивостей функції.

Крок 3. На основі отриманих даних для кожного параметра t_1, t_2, t_3 розраховуємо вектор ординат вузлів склейки сплайну та проведемо апроксимацію за допомогою КЕС.

Крок 4. Визначаємо ступінь впливу параметрів t_1, t_2, t_3 на T . Коефіцієнти аналітичного зв'язку знаходимо за умови, що середньоквадратична похибка прогнозу параметра T з параметрів t_1, t_2, t_3 буде мінімальною.

Крок 5. На основі вищезазначених даних проводимо статистичне вирівнювання часових рядів параметра T .

Дана методика оцінює ступінь впливу кожного з параметрів t_1, t_2, t_3 на параметр T з майбутнім середньостатистичним прогнозом даних, що приводить до реалізації вибору певного параметру для подальшого його покращення або оптимізації. Одночасно розроблена методика вирізняється простотою розрахунків, за рахунок чого забезпечує високу швидкодію при обчисленні, що, у свою чергу, важливо для роботи в реальному часі при обробці даних для забезпечення подолання ефектів блокування передачі в мобільних системах при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль.

Для подальшого моделювання запропонованого алгоритму було розроблено програмну модель на основі мови Python та відповідних бібліотек NumPy, Pandas, Matplotlib, Math та інші [178]. Вихідні дані для генерування інформації про пристрої користувачів можна взяти з першої програмної моделі.