

О. А. Козіна, Н. К. Стратієнко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## ЗМІШАНА НЕСУПЕРЕЧЛИВІСТЬ ДАНИХ У БАГАТОХМАРНИХ СИСТЕМАХ

У багатохмарних системах залишається проблемою підтримка адаптивного рівня узгодженості даних, якщо вони розташовані в дата-центрах різних власників, тому **предметом** вивчення в статті є модель змішаної несуперечливості даних для такого роду проєктів. Відомі моделі несуперечливості даних, засновані на припущенні, що не для всіх даних необхідний однаковий рівень строгості несуперечливості, не мають парадигми, що дозволяє використовувати їх для багатохмарних систем. **Метою** роботи є розробка адаптивної моделі змішаної несуперечливості. **Завдання**, яке вирішується в статті: формалізувати процедуру формування багатошарової вкладеної карти несуперечливості даних, розташованих в хмарних системах різних власників. **Методами** вирішення задачі є: протомолекулярний підхід, графовий метод, математичне моделювання. Отримані **результати**: протомолекулярний підхід дозволив сформувати модель багатошарової карти несуперечливості даних. Розроблено метрику для кожної неподільної одиниці моделі, що представляє собою кортеж з рангу несуперечливості, інтервалу зміни рангу і ступеня впливу оновлення даних однієї одиниці даних на інші. При побудові моделі врахована можливість управління розробниками проєкту необхідним ступенем строгості несуперечливості даних залежно від семантики проєкту. Передбачена можливість автоматичної динамічної адаптації ступеню строгості несуперечливості даних в процесі функціонування проєкту. **Висновки**: наукова новизна отриманих результатів полягає в розробленому протомолекулярному підході до формування багатошарової карти несуперечливості даних, розташованих в дата-центрах різних власників хмарних сервісів. Створення і підтримка запропонованої адаптивної моделі змішаної несуперечливості даних вимагає додаткових дій від розробників проєкту, але дозволяє знизити вартість підтримки хмарних сервісів.

**Ключові слова**: багатохмарність; змішана несуперечливість; карта несуперечливості проєкту.

### Вступ

Розвиток і впровадження хмарних технологій є основним прогнозованим трендом у сфері ІТ останніх років [1, 2]. Аналітики компанії International Data Corporation, що спеціалізується на дослідженнях ринку інформаційних технологій, пов'язують цю тенденцію з поширеністю багатохмарності і гібридних хмарних систем, які дозволять більш повно і ефективно задовольняти постійно зростаючі потреби в обслуговуванні великих даних і глобальних веб-сервісів [3].

Під багатохмарною системою в даній роботі мається на увазі хмарна система, що комбінує сервіси, які належать різним провайдерам, в той час як гібридна хмарна система може об'єднувати приватні та публічні хмари одного власника сервісів. У гібридній хмарі використання загальної оркестрації сервісів і додатків дозволяє переміщати навантаження між приватними та публічними хмарами одного провайдера [4].

Провідні хмарні провайдери, включаючи AWS, Azure, Google, IBM, Oracle, Mirantis, Red Hat і VMware, конкурують за клієнтів, які переносять свої робочі навантаження в гібридні хмарні середовища [5], проте все частіше озвучується необхідність опрацювання концепції багатохмарності та загальної екосистеми компаній, для якої потрібен не тільки більш загальний шар абстракції, що може поєднати різні середовища [6 – 8], а й спеціальні сервіси, здатні забезпечувати ефективне управління багатьма хмарами [5]. Деякі компанії вже заявили про створення різних інструментів, призначених для поліпшення інтеграції хмарних сервісів різних власників. Так, наприклад, команда розробки Kubernetes, що розвиває платформу для оркестровки контейнерів з

наданням більш високого рівня абстракції, ніж традиційні платформи управління хмарами, додала в нову версію свого програмного забезпечення функції, які дозволяють стороннім провайдерам зберігання додавати свої плагіни в кластери робочої конфігурації [9].

Однак, балансування продуктивності і доступності, як і підтримка адаптивного рівня узгодженості в цих масштабованих об'єктно-орієнтованих, багатовузлових або кластерних багатохмарних системах залишається проблемою [10].

Саме тому розробка моделі змішаної несуперечливості даних, що ефективна в середовищі різних власників хмарних сервісів є дуже актуальним завданням.

**Аналіз літератури.** Модель несуперечливості даних є основою механізму оновлень в системах хмарних обчислень, тобто як, що і коли оновлювати фактично визначає ефективність дата-центрів. При будь-якому типі ХaaS послуг власник хмари гарантує клієнтам обраний рівень надійності, тобто повинен виконувати резервне копіювання/реплікацію даних клієнта, отже, підтримка достатнього для клієнта рівня несуперечливості даних на всіх репліках є гарантом надійності всієї хмарної системи.

Мультихмара дозволяє компонувати хмарні сервіси різних власників без їх об'єднання, тому ефективність роботи у цьому оточенні багато в чому залежить від правильного управління даними.

Використання багатохмарних систем породжує складності з узгодженістю даних та поширенням оновлень, ініційованих клієнтом, тобто підвищується ризик отримання користувачами застарілих або невірних даних, наприклад, якщо частина неструктурованого контенту зберігається на декількох вузлах.

Змагання за нових клієнтів хмарних сервісів, яким пропонується високий ступінь узгодженості даних, призвело до підвищення кількості операцій з надання високої доступності і, відповідно до високої собівартості хмарних послуг. Ідея про те, що не всі дані вимагають однакового рівня узгодженості є відправною точкою в багатьох відомих роботах по створенню змішаних моделей несуперечності даних [11, 12, 13].

Ці роботи присвячені створенню нових метрик або пошуку компромісу між добре відомими класичними моделями несуперечності при використанні даних [14].

У роботі [12] при побудові моделі безперервної несуперечності використовується тривимірний вектор («Помилка числа», «Помилка порядку», «Застій»). Параметр «Помилка числа» вказує на загальну вагу операцій запису, які можуть бути виконані в усіх репліках до оновлення даної репліки. Параметр «Помилка порядку» обмежує кількість операцій запису, які можуть залишитися неврегульованими на будь-якій репліці, а параметр «Застій» обмежує час затримки у просуванні реплік. Така модель несуперечності даних може бути ефективною для оновлень, ініційованих сервером у одній хмарі. При цьому мається на увазі, що одна репліка містить дані, для узгодження яких підходить однаковий рівень несуперечності.

У широко відомій праці [15] модель несуперечності пов'язується зі вартістю експлуатаційних витрат дата-центру з надання обраного рівня суворості несуперечливості даних в хмарі. Для цього дані поділяються на три категорії: А, В і С. Для даних з категорії А повинні забезпечуватися найсуворіші гарантії узгодженості, а значить їх обслуговування має найвищу вартість. Для даних з категорії С можна забезпечувати мінімальний рівень несуперечності з низькою вартістю операцій. Для даних з категорії В, рівень несуперечності яких може бути змінено в процесі розвитку проекту, запропоновані політики нормування несуперечності на основі імовірнісних гарантій (процентилей) з використанням часової статистики.

В роботі [16] для виділення однакових рівнів несуперечності в мережних іграх класу стратегій реального часу розроблена модель VFC. Модель несуперечності VFC базується на векторі  $\kappa = (\theta, \sigma, \nu)$ , який визначає максимальне значення обмежень: за часом ( $\theta$ ), тобто інтервал в секундах, протягом якого об'єкт може коректно використовуватися без застосування поновлення; по послідовності ( $\sigma$ ), тобто кількістю оновлень, які об'єкт може пропустити; по значенню ( $\nu$ ), тобто. процентна відмінність між поточним і оновленим змістом даних. При цьому рекомендується використовувати семантичний поділ ігрових світів на області меншого розміру, які зазвичай реалізовано за допомогою порталів або тунелів, для угруповання об'єктів за рівнями несуперечності.

Для самих об'єктів типу портал/тунель пропонується використовувати однаковий, але більш слабкий рівень несуперечності, а для, наприклад, пото-

чного розташування героя – більш суворий рівень. Це, так званий, горизонтальний підхід до виділення областей несуперечності.

Вочевидь, що існує багато інших типів даних, що розташовано мультіхмарах, для котрих не можливо визначити допустимий час існування даних без оновлення або вказати кількість оновлень, які можна пропустити без шкоди для роботи віддалених клієнтів по всьому світу.

В роботі [17] пропонується модель несуперечності як сервіс – consistency as a service (CaaS) model.

Для багатохмарних систем модель CaaS, що сформульована в [17] з використанням відміток глобальних годин, не може бути реалізована, проте сама ідея виділення параметру несуперечності даних як основи архітектури багатохмарних систем виглядає дуже перспективною.

## Карта несуперечності

Розроблена модель змішаної несуперечності даних для багатохмарних систем базується на мапі рівнів несуперечності, що адаптивно змінюється в процесі розвитку проекту. Особливістю карти несуперечності даних проекту, що пропонується, є врахування не лише рангів несуперечності об'єктів, але і ступінь впливу оновлень, що відбулися в одному об'єкті на залежні дані.

Вхідними даними для створення карти несуперечності проекту є таблиця рангів тих моделей несуперечності, які можуть бути реалізовані відповідно до типу бази даних, що використовуються в кожній хмарній системі. Для кожної моделі несуперечності необхідно встановити деякий числовий еквівалент строгості  $\rho_r$ , з діапазону 0 ... 1, де 1 – суворая модель несуперечливості, 0,1 – найслабша модель несуперечності.

У таблицю можуть бути включені як класичні моделі несуперечності орієнтовані на дані, так і моделі, орієнтовані на клієнта, незалежно від того на який протокол поширення оновлень вони розраховані (просування або вилучення). Кількість моделей несуперечності даних, які можуть бути реалізовані на серверах дата-центрів можуть відрізнятися у різних власників дата-центрів.

Таблиця 1. Приклад таблиці рангів моделей несуперечності даних

Індекс рангу, $r$	Ранг, $\rho_r$	Найменування (сутність) моделі несуперечності
1	1	Суворая несуперечність
2	0,8	Потенційна несуперечність (узгодженість у кінцевому рахунку)
3	0,6	Несуперечність FIFO
4	0,3	Моногонний запис
5	0,2	Читання власних записів

Для ранжирування моделей за рівнями суворості несуперечності можна скористатися відомими роботами [18, 19, 20], або орієнтуватися на думки власної команди розробників. У будь-якому випадку результат ранжирування моделей несуперечності у багато чому буде суб'єктивним для кожного проекту і залежати від передбачуваних сподівань якості сервісу кінцевих користувачів. Слід зазначити, що сформована таблиця апіорних рангів моделей несуперечності може бути в подальшому скоректованою відповідно до рекомендаціям модуля моніторингу та прогнозів платформи управління багатохмарною системою.

Змішана модель несуперечності даних, що пропонується, визначає *карту* несуперечності усього проекту, яка представляє собою багатозарову вкладену структуру об'єктів, що мають різні ранги несуперечності. Оновлення, що сталося з ведучим об'єктом, розглядається як ініціатор оновлення в підпорядкованому залежному об'єкті. У карті несуперечності даних проекту кожен об'єкт визначено кортежем  $(\rho_r, \Delta\rho, \lambda_{x,y})$ , де  $\rho_r$  – ранг несуперечності об'єкту;  $\Delta\rho$  – числовий інтервал, всередині якого зміни значення рангу несуперечності можуть бути проведені автоматично згідно рекомендаціям модулю моніторингу та прогнозів;  $\lambda_{x,y}$  – числове значення ступеню впливу оновлення, що сталося з одним об'єктом, на інший об'єкт.

Розроблений *протомолекулярний* підхід до відокремлення об'єктів, що формують карту несуперечності, на першому кроці вимагає визначення зведених найважливіших функцій проекту  $F_i$ . Розглянемо як приклад портал туристичного оператора, що розташував власні дані в багатохмарній системі. Для такого порталу зведеними важливі функції це – забезпеченість та продаж пакетних турів ( $F_1$ ), індивідуальних ( $F_2$ ) та групових турів ( $F_3$ ).

Далі треба виділити об'єкти  $M_j^i$ , які використовуються для досягнення кожної функції  $F_i$ . Назвемо ці об'єкти *молекулами*. Молекулами змішаної моделі несуперечності можуть бути модулі, функції, класи, бібліотеки, тобто різні складені об'єкти, для яких несуперечливість визначена в даному проекті. Усередині *молекул* можливо виділити об'єкти *атоми*  $A_x^j$ , неподільні одиниці даних, наприклад, рядки, записи, значення змінних і т.п. У загальному вигляді зведені найважливіші функції проекту описуються структурою:

$$F_m = \left\{ M_1^m, \dots, M_j^m, \dots, M_N^m \mid M_1^m = (A_1^1, \dots, A_x^1, \dots, A_K^1), \dots, \right. \\ \left. M_N^m = (A_1^N, \dots, A_x^N, \dots, A_K^N) \right\}, \quad (1)$$

де  $m$  – поточний номер зведеної функції,  $N$  – кількість *молекул*, що формують поточну функцію,  $K$  – кількість *атомів*, що формують кожну *молекулу*.

Для кожного *атома* всередині *молекули* необхідно встановити числове значення обраного рангу

несуперечності  $\rho_r$  з визначеної раніше таблиці рангів (див. табл.1) з точки зору розробників. При цьому семантика проекту повинна бути джерелом апіорного розподілу даних. У нашому прикладі з порталом туристичного оператора для того, щоб успішно продавати тури портал повинен зберігати і обробляти великий обсяг різноманітної інформації: про готелі і перевізників, про ціни та наявність вільних місць, реєстраційні дані клієнтів, їх переваги та історії замовлень, прогнози цін, правила оформлення віз, туристичні новини різних країн і т.п. Зрозуміло, що для успішного ведення туристичного бізнесу не всі типи даних потребують однакового рівня несуперечності, тобто затримка в оновленні або тимчасове відображення застарілої інформації про погоду на курортах світу не так критична для туристичного оператора, як дані про наявність вільних місць в готелях у «високий» сезон на популярному пляжному напрямку.

Як відомо з теорії перспектив Канемана-Тверські, людям властиво переоцінювати вплив результату негативних альтернатив і недооцінювати внесок позитивних [21].

Рівень очікувань якості (або терпимість до затримок у відгуках на запити) кінцевих користувачів будь-якого віртуального проекту є неоднорідним за часом і залежить від семантики запиту [22], наприклад, результат пошуку за ключовим словом за ключовим словом користувач готовий чекати не більше секунди, а результат графічної візуалізації майнінгу даних від хвилини до години. Отже, можна апіорно виділити *атоми*, оновлення значень яких кінцевий користувач готовий більш терпимо очікувати, тобто для яких ранг несуперечності може бути нижчим.

Оновлення значень *молекул* проходить за аналогією до поведінки *атомів* і відповідає семантиці оновлення даних, що ініційовані клієнтом, тобто оновлення *молекул* може впливати на значення інших *атомів* і *молекул*. Такий тип впливу в розробленій змішаній моделі несуперечності графічно представляється у вигляді орієнтованого зваженого неплоского графу впливів оновлень. Вершинами графа є *атоми*, а дуги відображають наявність і напрямок впливу оновлення, що сталося в одному *атомі*, на значення інших. Ступінь впливу  $\lambda_{x,y}$  оновлення, що сталося з даними, наприклад, у об'єкті  $M_x^3$ , на інший об'єкт  $M_y^3$  представляє собою вагу відповідної дуги та має числовий еквівалент у діапазоні від 0 до 1.

*Атоми* з однаковим рангом несуперечності  $\rho_r$  можна згрупувати у плоскості, отримуючи багатозарову архітектуру моделі несуперечності *молекул* (рис. 1).

Слід зазначити, що можливо виникнення ситуація, коли один і той же *атом* буде часткою різних *молекул*, наприклад, курс обміну валюти у якості *атома* може входити до *молекул*, що формують кожну з виділених зведених функцій  $F_1$ ,  $F_2$  і  $F_3$  в прикладі з туристичним оператором.

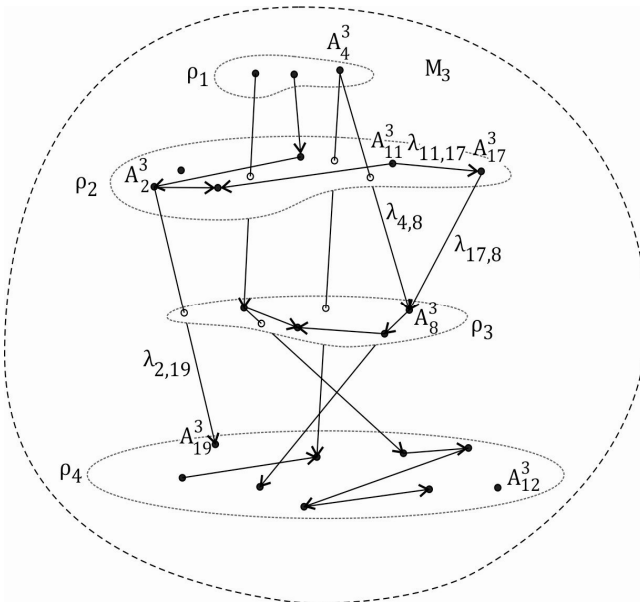


Рис. 1. Графічне представлення моделі суперечності одиночної молекули  $M_3$

На рис. 2 наведено приклад моделі несуперечності молекул  $M_3$  і  $M_7$ , у яких атоми  $A_{17}^3$  і  $A_5^7$  є одне й саме на площині з рангом  $\rho_2$ , а атоми  $A_{12}^3$  і  $A_6^7$  також зв'язані на площині з рангом несуперечності  $\rho_5$ .

Числовий діапазон значень параметру  $\Delta\rho$ , також треба визначати відповідно до семантики проекту для кожного об'єкту змішаної моделі.

Якщо  $\Delta\rho = 0$ , це означає, що значення рангу несуперечності для даного об'єкта може бути змінено тільки після аналізу статистичних даних розробниками проекту і не може бути змінено автоматично.

Конфігурація кортежів зведених найважливіших функцій формує загальну карту несуперечності всього проекту, по якій кожним власником дата-центру, що входить в багатохмарну систему, буде фактично виконуватися оновлення даних, ініційованих клієнтом.

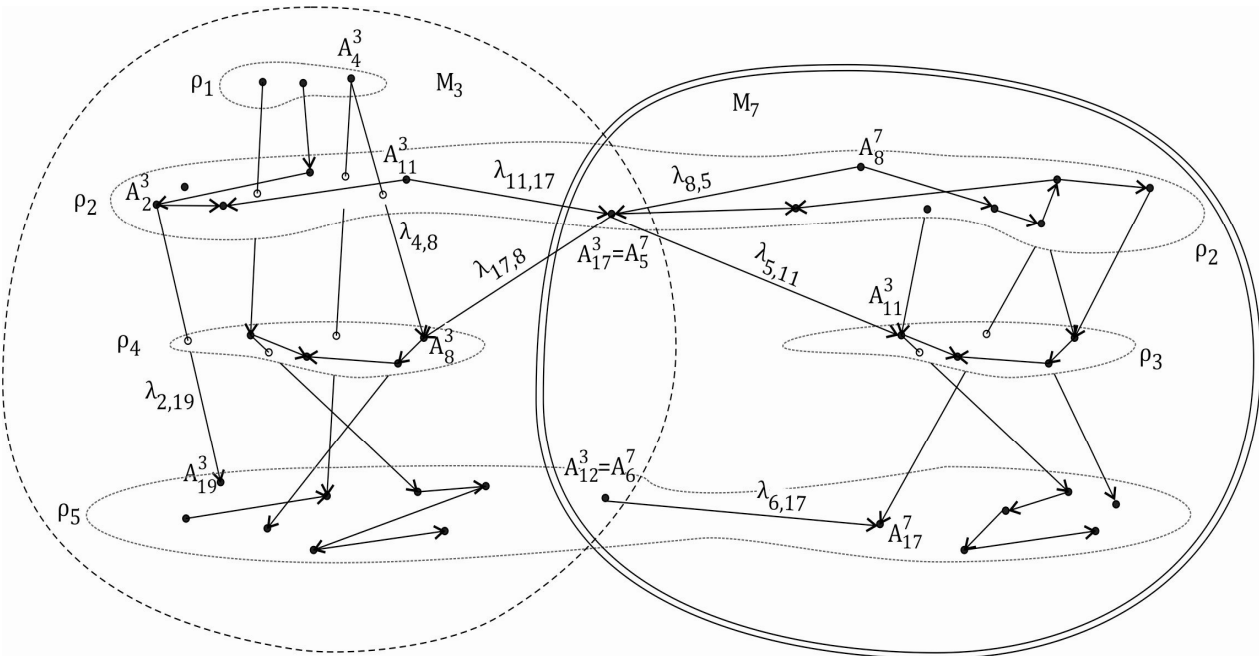


Рис. 2. Графічне представлення моделі несуперечності молекул  $M_3$  і  $M_7$  зі зв'язаними атомами

### Адаптація рангів у карті несуперечності

Для надання клієнтам прозорих сервісів для великих масштабованих проектів дата-центрам, що належить декільком власників, потрібно узгоджувати свою роботу.

Узагальнена схема інтеграції хмарних систем різних власників за допомогою спеціальної платформи управління представлена на рис. 3.

Модуль моніторингу та прогнозів аналізує всі звернення до даних в кожному дата-центрі на підставі статистики по серверам. За результатами аналізу формуються пропозиції для розробників проекту про адаптацію рівня несуперечності даних за обра-

ним критерієм: кількість операцій, необхідних для підтримки встановленого розробником рівня несуперечності, тобто за вартістю реалізації обраної моделі несуперечності.

При автоматичній зміні рангу несуперечності для атомів або цілих молекул, такі об'єкти можуть бути перегруповані, тобто перенесені на сервери, які обслуговують дані з відповідних рангом несуперечності.

У багатохмарних системах дані, що розташовані на одному шарі карти несуперечності можуть бути об'єднані на одному сервері, в одному кластері або дата-центрі, наприклад, на сервері, що має більш вигідне розташування з точки зору продуктивності/мережевого трафіку.

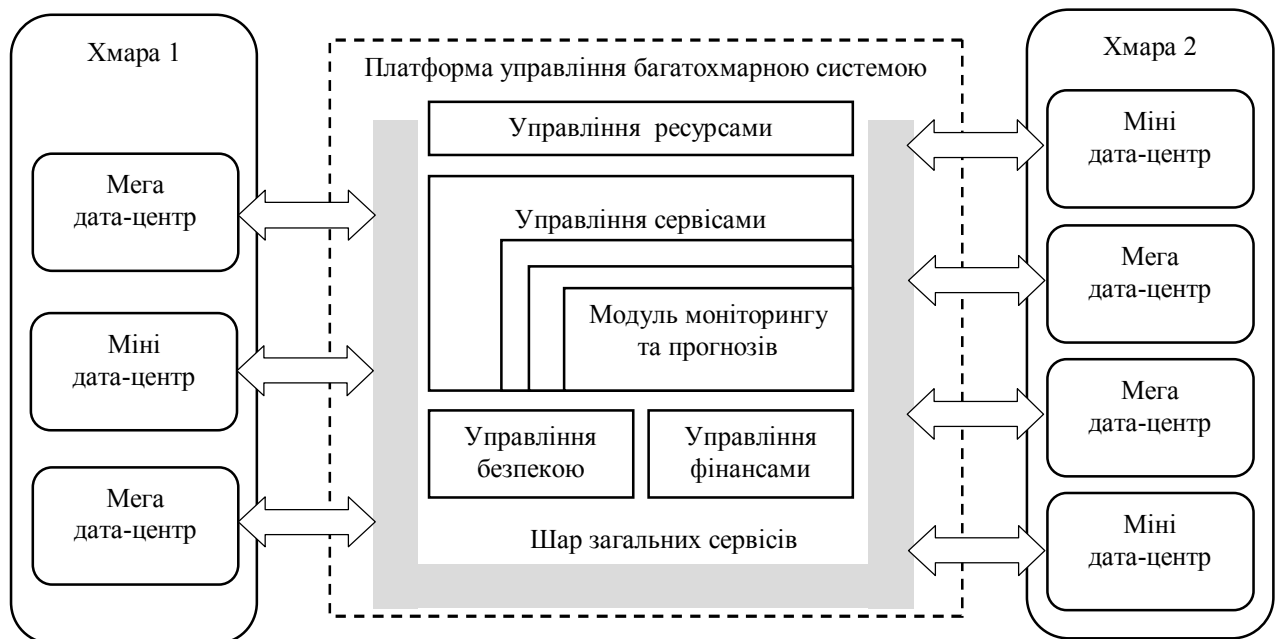


Рис. 3. Розташування модулю моніторингу та прогнозів в узагальненій схемі інтеграції для багатохмарних систем

Для такого сервера буде реалізована, наприклад, тільки одна обрана модель несуперечності даних.

### Висновки

У роботі запропонована змішана модель несуперечності даних у багатохмарних системах. Вкладена багатошарова карта несуперечності даних, що розташовані у дата-центрах різних власників, базується на відокремленні об'єктів – функцій, молекул і атомів.

Для кожного об'єкту формується кортеж з 3 параметрів: ранг несуперечності, інтервал можливих автоматичних змін рангу несуперечності та ступінь впливу оновлення даних поточного об'єкту на інші об'єкти. Значення параметрів кортежу залежать від

семантики проекту, від рівня якості, що очікують отримати від проекту кінцеві користувачів, тобто від терпимість до затримок у відгуках на запити, та від статистики звернень до даних у кожному дата-центрі.

Це дозволить адаптувати геолокацію ресурсів та продуктивність серверів з однаковим рангом несуперечності.

Запропонований протомолекулярний підхід до формування змішаної моделі несуперечності даних збільшує кількість процедур з підготовки даних до розгортання в багатохмарних системах, але його використання дозволить оптимізувати кількість операцій дата-центру, що виконуються для обслуговування даних клієнта, і таким чином знизити вартість таких послуг.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. It\_man. 5 трендов виртуализации: чего ожидать в 2018 году / it\_man // Хабр. – ТМ, 4 марта 2018. – Режим доступа : <https://habr.com/company/it-grad/blog/350356/>. – Дата звертання : 07 березня 2018.
2. Возможен ли рост рынка гибридных облаков? Прогноз на период 2014-2021 / Colobridge. – Colobridge, 17 марта 2017. – Режим доступа : <https://blog.colobridge.net/2017/03/hybrid-cloud-forecast/>. – Дата звертання : 17 березня 2018.
3. it\_man 6 трендов ИТ-инфраструктуры: прогноз на 2018 год / it\_man // Хабр. – ТМ, 1 ноября 2017. – Режим доступа : <https://habr.com/company/it-grad/blog/341374/>. – Дата звертання : 07 березня 2018.
4. Орлов С. Многооблачный мир / С. Орлов // Global CIO. Официальный портал ИТ-директоров. – Global CIO, 17 марта 2017. – Режим доступа : <http://www.globalcio.ru/workshops/2019/>. – Дата звертання : 07 березня 2018.
5. Петерсен С. ИТ-компании много говорят про многооблачность. Что они имеют в виду? / С. Петерсен // itWeek. – СК ПРЕСС, 29 січня 2018. – Режим доступа : <https://www.itweek.ru/its/article/detail.php?ID=199326/>. – Дата звертання : 07 березня 2018.
6. Облачные вычисления: изменение роли и значения ИТ-подразделения. Облако с точки зрения руководителей / Корпорация Cisco. – Cisco, 2015. – Режим доступа : [https://www.cisco.com/c/dam/m/ru\\_ru/internet-of-everything-iae/iac/assets/pdfs/cloud/C11-733578-00-Intercloud-WP-v5a-RU.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/m/ru_ru/internet-of-everything-iae/iac/assets/pdfs/cloud/C11-733578-00-Intercloud-WP-v5a-RU.pdf). – Дата звертання : 07 березня 2018.
7. Пресс-релизы 2017. Cisco и Google совместно разрабатывают гибридное облачное решение / Корпорация Cisco. – Cisco, 2017. – Режим доступа : [https://www.cisco.com/c/ru\\_ru/about/press/press-releases/2017/10-27.html](https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2017/10-27.html). – Дата звертання : 07 березня 2018.
8. Guerzoni R. Analysis of end - to - end multi - domain management and orchestration frameworks for software defined infrastructures: an architectural survey / R. Guerzoni, I. Vaishnavi, D. P. Caparros et al. // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. – 2017. – Vol. 28, № 4. – P.185-204. available at: <https://doi.org/10.1002/ett.3103>.

9. В Kubernetes 1.10 улучшено агрегирование API, хранение, безопасность и сетевые функции / Компьютерное Обозрение. – Компьютерное Обозрение, 29 березня 2018. – Режим доступа : [http://ko.com.ua/v\\_kubernetes\\_1\\_10\\_uluchsheno\\_agregirovanie\\_api\\_hranenie\\_bezopasnost\\_i\\_setevye\\_funkcii\\_124065](http://ko.com.ua/v_kubernetes_1_10_uluchsheno_agregirovanie_api_hranenie_bezopasnost_i_setevye_funkcii_124065). – Дата звертання : 07 березня 2018.
10. McClure T. White Paper. Strong Consistency versus Weak Consistency / T. McClure. – Milford : ESG, 2016. – 8 p.
11. Esteves S., Silva J., Veiga L. Quality-of-service for consistency of data geo-replication in cloud computing / S. Esteves, J. Silva, L. Veiga // Proceedings of the 18th International Conference: European Conference on Parallel Processing. – Rhodes Island, Greece: Springer, 2012. – P. 285-297.
12. Yu H. Design and evaluation of a continuous consistency model for replicated services / H. Yu, A. Vahdat // Proceedings of the 4th Conference on Symposium on Operating System Design & Implementation. – 2000. – Vol. 4. – P. 21-35.
13. Data Consistency Properties and the Trade-offs in Commercial Cloud Storage: the Consumers' Perspective / H. Wada, A. Fekete, L. Zhao, K. Lee, A. Liu // Proceedings of the 5th biennial Conference on Innovative Data Systems Research. – 2011. – Vol. 11. – P. 134-143.
14. Таненбаум Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен – СПб.: Питер, 2003. – 877 с.
15. Consistency rationing in the cloud: Pay only when it matters / T. Kraska, M. Hentschel, G. Alonso, D. Kossmann // Proceedings of the VLDB Endowment. – 2009. – Vol. 2, № 1. – P. 253-264.
16. Veiga L. Unifying divergence bounding and locality awareness in replicated systems with vector-field consistency / L. Veiga, A. Negrão, S. Nuno // Journal of Internet Services and Applications. – 2010. – Vol. 1, № 2. – P. 95-115. available at: <https://doi.org/10.1007/s13174-010-0011-x>.
17. Sruthymol K.S. Cloud Storage Service with Auditing Cloud Consistency / K.S. Sruthymol, R. Aswathy // International Journal of Modern Trends in Engineering and Research. – 2015. – Vol. 2, № 9. – P. 335-340.
18. Bailis P. Highly available transactions: Virtues and limitations / P. Bailis // Proceedings of the VLDB Endowment. – 2013. – Vol. 7. – № 3. – P. 181-192.
19. Viotti P., Vukolić M. Consistency in non-transactional distributed storage systems / P. Viotti, M. Vukolić // ACM Computing Surveys. – 2016. – Vol. 49, № 1. – P. 19-64.
20. Li C. Making Geo-Replicated Systems Fast as Possible, Consistent when Necessary / C. Li // OSDI. – 2012. – Vol. 12. – P. 265-278.
21. Easterlin R.A. Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence / R.A. Easterlin // Nations and households in economic growth. – 1974. – P. 89-125.
22. Ramsay J. A psychological investigation of long retrieval times on the World Wide Web / J. Ramsay, A. Barbesi, J. Preece // Interacting with computers. – 1998. – Vol. 10, № 1. – P. 77-86.

## REFERENCES

1. It\_man (2018), “5 Trends in Virtualization: What to Expect in 2018”, available at: <https://habr.com/company/it-grad/blog/350356/> (last accessed March 07, 2018).
2. Colobridge (2017), “Is the hybrid cloud market growing? Forecast for the period 2014-2021“, available at: <https://blog.colobridge.net/2017/03/hybrid-cloud-forecast/> (last accessed March 07, 2018).
3. It\_man (2017), “6 Trends in IT Infrastructure: Forecast for 2018”, available at: <https://habr.com/company/it-grad/blog/341374/> (last accessed March 07, 2018).
4. Orlov, S. (2017), “The multi-cloud world”, available at: <http://www.globalcio.ru/workshops/2019/> (last accessed March 07, 2018).
5. Petersen, S. (2018), “IT-companies talk a lot about the multi-clouds. What do they mean?”, available at: <https://www.itweek.ru/its/article/detail.php?ID=199326/> (last accessed March 07, 2018).
6. Cisco (2015), “Cloud computing: changing the role and importance of the IT department. Cloud from the point of view of managers”, available at: [https://www.cisco.com/c/dam/m/ru\\_ru/internet-of-everything-ioe/iac/assets/pdfs/cloud/C11-733578-00-Intercloud-WP-v5a-RU.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/m/ru_ru/internet-of-everything-ioe/iac/assets/pdfs/cloud/C11-733578-00-Intercloud-WP-v5a-RU.pdf) (last accessed March 07, 2018).
7. Cisco (2017), “Press Releases 2017. Cisco and Google jointly develop a hybrid cloud solution”, available at: [https://www.cisco.com/c/ru\\_ru/about/press/press-releases/2017/10-27.html](https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2017/10-27.html) (last accessed March 07, 2018).
8. Guerzoni, R., Vaishnavi I. and Caparros D.P. (2017), “Analysis of end - to - end multi - domain management and orchestration frameworks for software defined infrastructures: an architectural survey”, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, Vol. 28, No. 4, pp.185-204, available at: <https://doi.org/10.1002/ett.3103>.
9. Computer Review (2018), “Aggregation API, storage, security and network functions are improved in Kubernetes 1.10”, available at: [http://ko.com.ua/v\\_kubernetes\\_1\\_10\\_uluchsheno\\_agregirovanie\\_api\\_hranenie\\_bezopasnost\\_i\\_setevye\\_funkcii\\_124065](http://ko.com.ua/v_kubernetes_1_10_uluchsheno_agregirovanie_api_hranenie_bezopasnost_i_setevye_funkcii_124065) (last accessed March 07, 2018).
10. McClure, T. (2016), *White Paper. Strong Consistency versus Weak Consistency*, ESG, Milford, 8 p.
11. Esteves, S., Silva, J. and Veiga, L. (2012), “Quality-of-service for consistency of data geo-replication in cloud computing”, Proceedings of the 18th International Conference “European Conference on Parallel Processing”, pp. 285-297.
12. Yu, H. and Vahdat, A. (2000), “Design and evaluation of a continuous consistency model for replicated services“, Proceedings of the 4th Conference on Symposium “Operating System Design & Implementation”, Vol. 4, pp. 21-35.
13. Wada, H., Fekete, A., Zhao, L., Lee, K. and Liu, A. (2011), “Data Consistency Properties and the Trade-offs in Commercial Cloud Storage: the Consumers' Perspective”, Proceedings of the 5th biennial Conference “Innovative Data Systems Research”, Vol. 11, pp. 134-143.

14. Tanenbaum, A. and Van Steen, M. (2003), *Distributed systems: principles and paradigms*, Publishing house "Piter", Saint Petersburg, 877 p.
15. Kraska, T., Hentschel, M., Alonso, G. and Kossmann, D. (2009), "Consistency rationing in the cloud: Pay only when it matters", *Proceedings of the VLDB Endowment*, Vol. 2, No. 1, pp. 253–264.
16. Veiga, L., Negrão, A. and Nuno, S. (2010), "Unifying divergence bounding and locality awareness in replicated systems with vector-field consistency", *Journal of Internet Services and Applications*, Vol. 1, No. 2, pp. 95-115, available at: <https://doi.org/10.1007/s13174-010-0011-x>.
17. Sruthymol, K.S. and Aswathy, R. (2015), "Cloud Storage Service with Auditing Cloud Consistency", *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, Vol. 2, No. 9, pp. 335-340.
18. Bailis, P., Davidson, A., Fekete, A., Ghodsi, A., Hellerstein, J.M. and Stoica, I. (2013), "Highly available transactions: Virtues and limitations", *Proceedings of the VLDB Endowment*, Vol. 7, No. 3, pp. 181-192.
19. Viotti, P. and Vukolić, M. (2016), "Consistency in non-transactional distributed storage systems", *ACM Computing Surveys*, Vol. 49, No. 1, pp. 19-64.
20. Li, C., Porto, D., Clement, A., Gehrke, J., Preguiça, N. and Rodrigues, R. (2012), "Making Geo-Replicated Systems Fast as Possible, Consistent when Necessary", *Proceedings of the 10th USENIX conference "Operating Systems Design and Implementation"*, Vol. 12, pp. 265-278.
21. Easterlin, R.A. (1974), "Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence", *Nations and households in economic growth*, pp. 89-125.
22. Ramsay, J., Barbesi, A., Preece, J. (1998), "A psychological investigation of long retrieval times on the World Wide Web", *Interacting with computers*, Vol. 10, No. 1, pp. 77-86.

Received (Надійшла) 23.03.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.05.2018

### Смешанная непротиворечивость данных в многооблачных системах

О.А. Козина, Н.К. Стратиенко

В многооблачных системах остается проблемой поддержание адаптивного уровня согласованности данных, когда они расположены в дата-центрах различных владельцев, поэтому **предметом** изучения в статье является смешанная непротиворечивость данных такого рода проектов. Известные модели непротиворечивости данных, основанные на предположении, что не для всех данных необходим одинаковый уровень строгости непротиворечивости, не обладают общностью парадигмы, позволяющей использовать их для многооблачных систем. **Целью** работы является разработка адаптивной модели смешанной непротиворечивости. **Задача**, решаемая в статье: формализовать процедуру формирования многослойной вложенной карты непротиворечивости данных, расположенных в облачных системах различных владельцев. Используемыми **методами** являются: протомолекулярный подход, графовый метод, математическое моделирование. Получены следующие **результаты**: протомолекулярный подход позволил сформировать модель многослойной карты непротиворечивости данных. Разработана метрика для каждой неделимой единицы модели, представляющая собой кортеж из ранга непротиворечивости, интервала изменения ранга и степени влияния обновления. При построении модели учтена возможность управления разработчиками проекта необходимой степенью строгости непротиворечивости данных в зависимости от семантики проекта. Предусмотрена возможность автоматической динамической адаптации степени строгости непротиворечивости данных в процессе функционирования проекта. **Выводы**: Научная новизна полученных результатов состоит в разработанном протомолекулярном подходе к формированию многослойной карты непротиворечивости данных, расположенных в дата-центрах различных владельцев облачных сервисов. Создание и поддержание предложенной адаптивной модели смешанной непротиворечивости данных требует дополнительных действий от разработчиков при размещении и поддержке данных в многооблачной системе, но позволяет снизить стоимость поддержания облачных сервисов.

**Ключевые слова:** многооблачность; смешанная непротиворечивость; карта непротиворечивости проекта.

### Mixed consistency of the data in multcloud systems

O. Kozina, N. Stratiienko

In multi-cloud systems, supporting of an adaptive level of consistency of data when they are located in data centers of different owners remains a problem that is why the subject of study in the article is the mixed consistency of the data of such projects. Known consistency models based on the assumption that not all data have to the same level of consistency haven't got a common paradigm allowing to be used them for multcloud systems. The **goal** of the work is to develop an adaptive model of mixed consistency. The task to be solved is to formalize the procedure for forming a multi-layered nested map of consistency of the data located in different owner's cloud systems. The **methods** used are the protomolecular approach, graph theoretic methods, mathematical modeling. The following **results** were obtained: the protomolecular approach has allowed to forming a model of an multi-layered map of consistency of the data. The metric for each undivided unit of the model, which is a cortege from the consistency rank, from the interval of the rank change and from the degree of update influence is developed. Proposed model gives ability of management of necessary strength of data consistency by developers according to semantic of a project. The ability of automatic dynamic adaptation of strength degree of data consistency during functioning of the project is considered. **Conclusions**. The scientific novelty of the results obtained is as follows: the model of mixed consistency of the data located in cloud systems of different owners was proposed by defining the protomolecular approach. Creation and maintenance of the proposed adaptive mixed model of the data consistency requires additional actions from developers during deploying and maintaining data in a multi-cloud system, but it allows to reduce the cost of cloud services maintaining.

**Keywords:** multi-cloud; mixed consistency; map of consistency of the project.