

О. А. КОЗИНА, канд. тех. наук, доц. НТУ "ХПІ",
В. І. ПАНЧЕНКО, ст. викл. НТУ "ХПІ",
О. М. РИСОВАНИЙ, канд. тех. наук, доц. НТУ "ХПІ"

АРХІТЕКТУРА ПРОМІЖНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ УЗГОДЖЕННЯ ДАНИХ В МУЛЬТИХМАРНИХ СИСТЕМАХ

Проміжне програмне забезпечення (ППЗ) мультимарних систем має виконувати багато різних функцій щодо управління, контролю та моніторингу ресурсів, що мають взаємодіяти, але можуть мати відмінності у реалізації у кожному провайдері хмарних послуг. У статті запропоновано механізм реалізації моделі монотонного запису для мультимарних систем з гео-розподіленою архітектурою ППЗ. Показано, що географічне розташування модулів ППЗ визначає запропонований механізм синхронізації старту інтервалу узгодження при формуванні номерів глобальної послідовності запису даних клієнтів в бази даних мультимарних систем. Іл.: 2. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: проміжне програмне забезпечення; гео-розподілена архітектура ППЗ; мультимарні системи.

Постановка задачі і аналіз літератури. Використання кількох провайдерів хмарних послуг може бути корисно для підвищення надійності та доступності даних в гео-розподілених системах, проте це пов'язано з поки ще не до кінця вирішеними алгоритмами управління доступом і узгодження даних в подібних мультимарних системах (МХС). Застосування декількох реплік баз даних в дата-центрах (ДЦ) у кожного провайдера МХС зводить до мінімуму ризик втрати даних при збої, тим самим гарантуючи, що дані користувачів можуть бути відновлені в разі збою [1].

В роботі [2] експериментально показано, що розгортання веб-сервісів в ДЦ паралельно у трьох провайдерів хмарних послуг – Amazon EC2, Google Compute Engine і Microsoft Azure – знижує затримку відгуку більш ніж на 20% в порівнянні з використанням цих же веб-сервісів в ДЦ тільки якого-небудь одного хмарного провайдера. Автори вважають, що основною причиною такого зниження є більш ефективна маршрутизація між IP адресами кінцевих користувачів і найближчим центром обробки даних. Однак, автори не розглядали використання проміжного програмного забезпечення (ППЗ) для узгодження функціонування веб-сервісів, розташованих у різних провайдерів, і питання реплікації даних в ДЦ різних хмарних провайдерів залишили без уваги.

Відсутність стандартів і загальноприйнятих підходів в проектуванні

ППЗ, поряд з великою кількістю різноманітних завдань, які повинні виконуватися ППЗ, є на сьогоднішній день відомим фактором, який обмежує широке впровадження МХС, що відзначають автори роботи [3]. Автори багатьох робіт вважають, що в загальному випадку ППЗ мультихмари може виконувати наступні типи завдань в залежності від специфіки галузі використання МХС [3 – 6]:

- об'єднання різнорідних ресурсів з різних адміністративних доменів;
- забезпечення взаємодії програмного забезпечення різних провайдерів, включаючи використання механізмів аутентифікації і авторизації;
- аналіз і комбінування різних моделей білінгу в різних сервісах;
- управління місцем розташування, узгодженням і несуперечністю даних;
- безперервний моніторинг параметрів і тривалості виконання завдань.

Функціонально ППЗ можна розглядати як централізований блок управління МХС, а структурно – як підсистему управління мікросервісами, наприклад, мікросервісом для збору і моніторингу параметрів в кожній хмарі; мікросервісом узгодження даних; мікросервісом координування користувальницького трафіку; мікросервісом маршрутизації операцій читання/запису даних користувачів та інші.

В роботі [7] ППЗ розглядається як адаптивна платформа, яка виконує багатоцільову оптимізацію мультихмарного сховища даних, яке може постійно розвиватися. Для вирішення завдання адаптивного ефективного розміщення даних в декількох хмарах автори пропонують виділити 4 рівні в архітектурі ППЗ: рівень мультіарендності, рівень додатків, рівень адаптивного управління даними і рівень масштабування/зміни середовища мультихмарного сховища. Перші два рівня ППЗ відповідають за конфігурацію серверних частин сервісів МХС і налаштування специфікацій угоди про рівень обслуговування (Service Level Agreement, SLA). Рівень адаптивного управління даними автономно ідентифікує поведінку окремих систем зберігання і зміни в операційному середовищі, а останній рівень ППЗ надає єдиний програмний інтерфейс взаємодії з драйверами різних баз даних і систем зберігання, реалізованих у кожного хмарного провайдера. Автори аналізують можливості такої архітектури для управління ресурсами МХС, однак залишають поза увагою питання взаємодії копій запропонованого монолітного ППЗ, які можуть бути розміщені віддалено одна від одної.

Проблема несуперечності даних не виникає, коли у всіх ДЦ самі дані, які в будь-який момент може прочитати або змінити користувач, в один і

той же момент часу є ідентичними, іншими словами, коли відсутні моменти часу, в які в одних ДЦ вже нові дані, а в інших ще ні. Алгоритми реплікації даних всередині ресурсів хмари реалізуються кожним провайдером незалежно один від одного, в той же час, завдання узгодження даних між кількома провайдерами повинне вирішуватися розробниками ППЗ [8], що безпосередньо пов'язано як з вибором архітектури даних, так і з вибором протоколу несуперечності даних в МХС. Таким чином, реалізація алгоритмів несуперечності даних в МХС є перш за все завданням розробки відповідного ППЗ.

При наявності кількох моделей несуперечності даних в проєктованому ПЗ можна створювати карту несуперечності, яка є багаторівневою вкладеною структурою об'єктів, згрупованих за моделями несуперечності [9]. Однак, архітектура ППЗ значно впливає на кінцевий рівень узгодженості даних для мультихмар, оскільки моделі несуперечності, що реалізовані в ППЗ, додатково накладаються на рівень узгодженості, що реалізується кожним хмарним провайдером окремо.

Для виконання завдань управління ресурсами гео-розподіленої мультихмари ППЗ, як об'єднання взаємодіючих мікросервісів, повинно мати: з одного боку – швидкий канал передачі даних між керованими об'єктами, тобто ресурсами кожного провайдера, з іншого боку – кінцеві користувачі повинні отримувати доступ до ресурсів МХС через мікросервіси ППЗ. Таким чином, для гео-розподіленої МХС структура і фізичне місце розташування ППЗ грає важливу роль в забезпеченні припустимої затримки відгуку.

Мета статті – розробка архітектури ППЗ для реалізації моделі несуперечності даних без синхронізації реплік в гео-розподілених МХС.

Механізм узгодження даних при запису в МХС з гео-розподіленою архітектурою ППЗ. Припустимо, що бази даних кожної хмари містять ідентичні дані, тобто є репліками, і користувачеві гарантується, що запит читання, відправлений в базу даних будь-якого хмарного провайдера, поверне актуальні і ідентичні дані. Будемо вважати записом (або оновленням) будь-яку операцію, яка змінює значення об'єкта в базі даних, в той час як, навпаки, читання повертає процесу, який викликав операцію, поточне значення, яке зберігається в репліці об'єкта, не виконуючи яких-небудь змін в ньому.

ППЗ для такої МХС об'єднує модулі з різним функціоналом. Назвемо модуль управління записом/читання в ППЗ брокером $Br_{i,j}$, тоді залежно від передбачуваного географічного місцезнаходження найбільш значущої частини кінцевих користувачів проєктованої МХС в кожній хмарі може бути розміщено декілька брокерів $Br_{i,j}$ (рис.1). Всі модулі

$Br_{i,j}$ містять ідентичне ПЗ і виконують ідентичні функції, але за рахунок більш близького розташування до кінцевих користувачів (UserA, UserB на рис. 1) можуть знизити затримку відгуку від баз даних (DB1, DB2, DB3 на рис. 1) і сприяти оптимізації навантаження.

Для зниження рівня затримок відгуку від реплік баз даних в МХС з гарантовано ідентичними актуальними даними при зверненні клієнтів з будь-якого місця, передбачається використовувати механізм, при якому операція запису не породжує автоматичного виконання синхронізації реплік, розташованих у різних хмарних провайдерів.

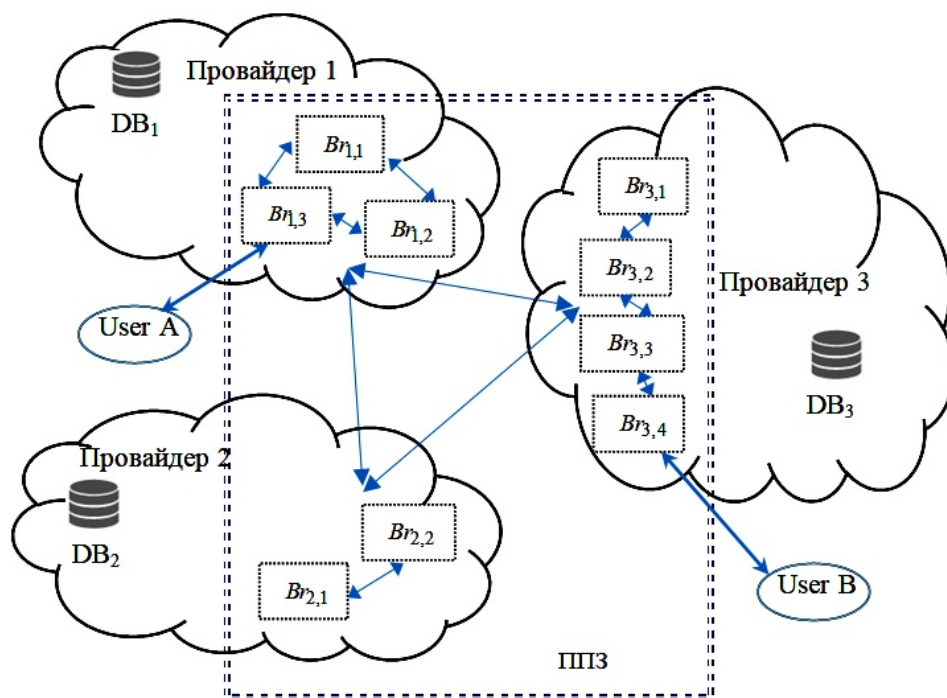


Рис. 1. Структура ППЗ для мікросервісу по запису/читанню в МХС з трьох провайдерів

В якості базового алгоритму для цього розглядається механізм активної реплікації з повністю впорядкованою глобальною послідовністю запису пакетів, який дозволяє забезпечити несуперечливість монотонного запису [10]. При цьому найближчий до кінцевого користувача модуль $Br_{i,j}$ ППЗ для кожного пакета даних отримує унікальний ключ даних Key , який одночасно разом з самим

пакетом даних був відправлений у всі бази DB_i . На протязі інтервалу узгодження T в кожному брокері $Br_{i,j}$, що отримав цей ключ, формується унікальний номер в глобальній послідовності на запис N . Ця пара $\{Key, N\}$ відправляється у всі бази МХС для однозначної послідовної ідентифікації коректного розташування запису визначеного пакету даних у кожній репліці бази даних МХС. Запис пакета даних в базу кожного хмарного провайдера виконується тільки при отриманні від ППЗ відсортованого номера глобальної послідовності N , що було видано для відповідного ключа Key і тільки після успішного виконання процедури запису в базу даних пакета з попереднім номером $N-1$. Підтвердження про успішність виконання запису кожного пакета і про успішність виконання читання повертаються брокерам для продовження роботи механізму формування наступних номерів в глобальній послідовності на запис.

Особливістю запропонованої реалізації моделі несуперечності монотонного запису для МХС є відсутність використання глобальної синхронізації часу між ресурсами різних провайдерів, а також відсутність необхідності виконувати періодичну повну реплікацію баз даних між хмарними провайдерами.

Механізм синхронізації старту інтервалу узгодження при формуванні номерів глобальної послідовності запису в МХС. Довжина інтервалу узгодження T відраховується від t_0 – моменту надходження в найближчий до кінцевого користувача модуль $Br_{i,j}$ повідомлення з ключем i є заздалегідь обраним однаковим значенням для всіх брокерів ППЗ. Це означає, що до моменту $T_1 = t_0 + T$ в ППЗ не може з'явитися нового номеру в глобальній послідовності номерів на запис. Але моменти надходження повідомлень з ключами від кінцевих користувачів в різні модулі $Br_{i,j}$ є незалежними випадковими величинами і для того, щоб отримати в різних модулях однаковий момент часу, до якого зберігається значення наступного вільного номера послідовності, необхідно провести процедуру вирівнювання моментів, в які починається обраний заздалегідь інтервал узгодження. Іншою мовою, якщо в МХС є можливість обрати стартову точку відліку інтервалу узгодження для всіх брокерів ППЗ у всіх провайдерів, тоді немає потреби проводити процедуру вирівнювання старту при реалізації механізму формування номерів глобальної послідовності запису.

Слід враховувати, що формування глобальної послідовності номерів для запису потребує обмін номерами між брокерами всіх провайдерів.

Інтервали, на протязі яких передані повідомлення від одних брокерів $Br_{i,j}$ можуть досягти інших $Br_{i,j}$, є випадковими величинами. Припустимо, що апріорно отримані значення середніх значень інтервалів передачі повідомлень від кожного брокера $Br_{i,j}$ до всіх інших брокерів ППЗ формують матрицю попарних інтервалів $\tau_{i,j}$. Для 8 модулів ППЗ така матриця може виглядати наступним чином:

$$\tau_{i,j} = \begin{matrix} & Br_1 & Br_2 & Br_3 & Br_4 & Br_5 & Br_6 & Br_7 & Br_8 \\ \begin{matrix} Br_1 \\ Br_2 \\ Br_3 \\ Br_4 \\ Br_5 \\ Br_6 \\ Br_7 \\ Br_8 \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccccccc} - & 251 & 80 & 62 & 148 & 135 & 90 & 51 \\ 251 & - & 129 & 359 & 41 & 28 & 29 & 28 \\ 80 & 129 & - & 31 & 132 & 98 & 71 & 62 \\ 62 & 359 & 31 & - & 31 & 149 & 30 & 47 \\ 148 & 41 & 132 & 31 & - & 31 & 36 & 134 \\ 135 & 28 & 98 & 149 & 31 & - & 143 & 80 \\ 90 & 29 & 71 & 30 & 36 & 143 & - & 143 \\ 51 & 28 & 62 & 49 & 134 & 80 & 143 & - \end{array} \right. & \end{matrix} \quad (1)$$

Середнє значення самого довгого попарного інтервалу передачі повідомлень між вузлами $\max \tau$, з урахуванням середньоквадратичного відхилення σ цієї випадкової величини, може використовуватись в якості мінімально допустимого інтервалу узгодження T при формуванні номерів в глобальній послідовності, тобто

$$T = \max \tau + \sigma \quad (2)$$

і для наведеної матриці (1) $T = 359 + \sigma = 359 + 19 = 378$. Таким чином, інтервал узгодження T більше будь-якої довжини передачі повідомлення між всіма модулями ППЗ.

Для синхронізації старту обраного інтервалу узгодження T , всі брокери ППЗ отримують індекси, наприклад, від 1 до M і поділяються на непересічні зростаючі пари індексів: (Br_1, Br_2) , (Br_3, Br_4) , ... (Br_{M-1}, Br_M) . В випадку непарної кількості брокерів ППЗ замість останньої пари необхідно використовувати один індекс, який залишився. Для кожної такої пари брокерів проводиться наступна процедура вирівнювання на протязі трьох інтервалів T , схема якої показана на рис. 2.

Припустимо, що модулі Br_x і Br_y відправляють одночасно один одному повідомлення, що містить тільки індекс відправника. Ці "одночасні" моменти часу позначимо як t_0^x і t_0^y , і в глобальному часі вони не співпадають, отже, модуль Br_x отримав повідомлення в момент $t_0^y + \tau_{x,y}$, а модуль Br_y – в момент $t_0^x + \tau_{x,y}$.

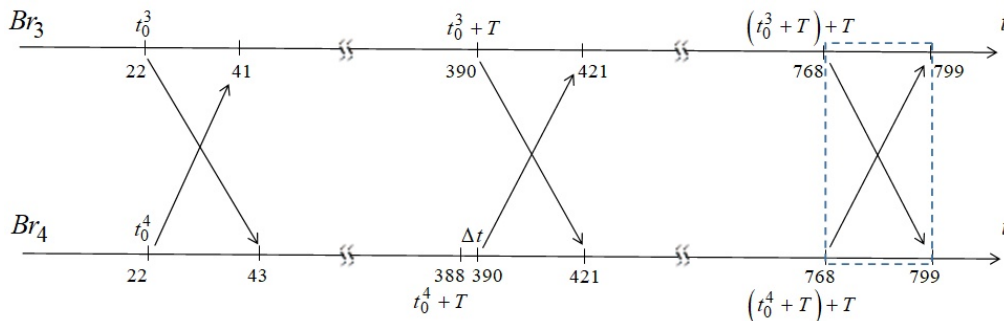


Рис. 2. Схема процедури вирівнювання для пари модулів (Br_3, Br_4)

В кожному модулі виконується порівняння моменту отримання повідомлення з теоретично очікуваним моментом отримання, наприклад, припустимо, що в модулі Br_y фактичний час отримання повідомлення приймається за

$$T_{real}^y = t_0^x + \tau_{x,y}, \quad (3)$$

хоча теоретично очікуваний момент отримання повинен був бути

$$T_{theor}^y = t_0^y + \tau_{x,y}, \quad (4)$$

якщо моменти відправлення повідомлення t_0^y .

Якщо в модулі Br_y виконується умова $T_{real}^y > T_{theor}^y$, то наступна передача повідомлення почнеться не в момент $t_0^y + T$, а з урахуванням часової поправки

$$\Delta t = T_{real} - T_{theor} = (t_0^x + \tau_{x,y}) - (t_0^y + \tau_{x,y}) = t_0^x - t_0^y, \quad (5)$$

тобто в момент $t_0^y + T + \Delta t$.

Якщо в модулі Br_x теоретично очікуваний час отримання повідомлення від Br_y менший або дорівнює фактичному, тобто

$$t_0^y + \tau_{x,y} \leq t_0^x + \tau_{x,y} \quad , \quad (6)$$

тоді наступний старт відправки повідомлення буде виконано в момент $t_0^x + T$, тобто без змін. При цьому в другому інтервалі узгодження в обох модулях фактичний час отримання повідомлення буде не більше теоретичного і старт відправки повідомлень для даної пари брокерів ППЗ в третьому інтервалі вже буде виконуватись в синхронний момент часу.

По закінченні першої процедури вирівнювання той модуль з кожної пари, який не змінював стартовий момент інтервалу узгодження, відправляє всім модулям свій індекс. Таким чином, на кожному модулі $B r_i$ формується нова послідовність індексів з модулів, між якими необхідно знову провести попарну процедуру вирівнювання. Якщо хоча б в одній парі брокерів стається регулювання старту інтервалу узгодження, то процедуру вирівнювання необхідно продовжувати проводити для індексів, що не міняють старт інтервалу. Для модулів, які не приймають участь на поточному кроці в процедурі вирівнювання, початкове значення наступного інтервалу узгодження обчислюється шляхом додавання к поточному значенню T . Покрокова реалізація першого циклу попарного вирівнювання для ППЗ з восьми брокерів с попарними інтервалами $\tau_{i,j}$ з матриці (1), наведена в таблиці 1.

Припустимо, що в якості старту спільного інтервалу узгодження для розглянутого ППЗ обрано момент $t_0 = 100$. На кроці 1 в рядку t_0^i наведені стартові значення відправки повідомлень від кожного брокера $B r_i$ в глобальних одиницях часу. І ці значення фактично означають старт інтервалу узгодження на кожному брокері. Як видно, максимальне відставання від передбачуваного старту інтервалу T складає 11 у модуля $B r_4$.

Таке циклічне переформування послідовності пар індексів брокерів ППЗ і наступна процедура вирівнювання проводяться доти, поки у всіх парах будуть незмінні інтервали узгодження. Після цього проводиться контрольна процедура попарного вирівнювання для всіх індексів брокерів, і якщо змін в старті інтервалу узгодження немає, тоді механізм зупиняється і отримані значення старту інтервалу вважаються синхронізованими.

Запропонований механізм попарного вирівнювання стартового значення інтервалу узгодження в ППЗ для прикладу, що наведений в табл. 1, дозволяє за 9 кроків синхронізувати стартові значення T на всіх брокерах. При цьому саме апріорно отримані значення попарних інтервалів передачі повідомлень з матриці (1), а значить і географічне

розташування модулів мікросервіса запису даних ППЗ, грає визначальну роль в реалізації моделей несуперечності даних в МХС.

Таблиця 1

Перший цикл попарного вирівнювання для ППЗ з восьми брокерів

крок 1		B_{r_1}	B_{r_2}	B_{r_3}	B_{r_4}	B_{r_5}	B_{r_6}	B_{r_7}	B_{r_8}
	t_0^i	110	102	100	111	108	100	101	103
	T_{theor}^i	361	353	131	142	139	131	244	246
	T_{real}^i	353	361	142	131	131	139	246	244
	$T_{theor}^i < T_{real}^i ?$	-	+	+	-	-	+	+	-
	Δt	0	8	11	0	0	8	2	0
	$t_{0,new}^i$	488	488	489	489	486	486	481	481
крок 2		B_{r_1}	B_{r_4}	B_{r_5}	B_{r_8}	B_{r_2}	B_{r_3}	B_{r_6}	B_{r_7}
	t_0^i	488	489	486	481	488	489	486	481
	T_{theor}^i	550	551	620	615				
	T_{real}^i	551	550	615	620				
	$T_{theor}^i < T_{real}^i ?$	+	-	-	+				
	Δt	1	0	0	5				
	$t_{0,new}^i$	867	867	864	864	866	867	864	859
крок 3		B_{r_4}	B_{r_5}	B_{r_1}	B_{r_2}	B_{r_3}	B_{r_6}	B_{r_7}	B_{r_8}
	t_0^i	867	864	867	866	867	864	859	864
	T_{theor}^i	898	895						
	T_{real}^i	895	898						
	$T_{theor}^i < T_{real}^i ?$	-	+						
	Δt	0	3						
	$t_{0,new}^i$	1245	1245	1245	1244	1245	1242	1237	1242

Висновки. Розроблено новий підхід до розробки архітектури проміжного програмного забезпечення мультимарних систем. Основна наукова та практична значущість розробленої архітектури полягає у обґрунтуванні необхідності аналізувати географічне розташування модулів ППЗ при визначенні відгуку МХС та можливості реалізувати необхідну модель несуперечності даних.

Список літератури:

1. *Alshammari M.M.* Data Backup and Recovery With a Minimum Replica Plan in a Multi-Cloud Environment / *M.M. Alshammari, A. Nordin, A.A. Alwan, A.Z. Abualkishik* // *International Journal of Grid and High Performance Computing*, Vol. 12(2), 2020. – P. 102–120.
2. *Wu Z.* Understanding the Latency Benefits of Multi-Cloud Webservice Deployments / *Z. Wu, H.V. Madhyastha* // *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 43, № 2, April 2013. – P. 14-19.
3. *Bittencourt L.F.* Middleware for Multicloud / *L.F. Bittencourt, R.N. Calheiros* // *IEEE Cloud Computing*, Vol. 4(4), 2017. – P. 22-25.
4. *Koulouzis S.* Virtual Infrastructure Optimisation / *S. Koulouzis, P. Martin, and Z. Zhao* // *Towards Interoperable Research Infrastructures for Environmental and Earth Sciences. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12003. Springer, Cham, 2020. – P. 192-207.
5. *Wang P.* An Adaptive Data Placement Architecture in Multicloud Environments / *P. Wang, C. Zhao, Y. Wei, D Wang, Z. Zhang* // *Scientific Programming*, Vol. 2020. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.hindawi.com/journals/sp/2020/1704258/> – Дата доступу 17.08.2021 р.
6. *Mealha D.* Data Replication on the Cloud/Edge / *D. Mealha, N. Preguiça, M.C. Gomes, J. Leitão* // *PaPoC '19: Proceedings of the 6th Workshop on Principles and Practice of Consistency for Distributed Data*, March 2019, Article No.: 7, 2019. – P. 1-7.
7. *Rafique A.* Towards an Adaptive Middleware for Efficient Multi-Cloud Data Storage / *A. Rafique, D.V. Landuyt, V. Reniers, W. Joosen* // *CrossCloud'17*, April 23, 2017, Belgrade, Serbia, 2017. [Електронний ресурс]. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3069383.3069387> – Дата доступу 17.08.2021 р.
8. *Viotti P.* Consistency in Non-Transactional Distributed Storage Systems / *P. Viotti and M. Vukolić* // *ACM Computing Surveys*, Vol. 49(1), 2016. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1145/2926965> – Дата доступу 17.08.2021 р.
9. *Козіна О.А.* Змішана несуперечність даних у багатохмарних системах / *О.А. Козіна, Н.К. Стратієнко* // *Сучасні інформаційні системи*. – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. – Т.2, № 2. – С. 23-29.
10. *Таненбаум Э.С.* Распределенные системы / *М. ван Стин, Э. Таненбаум*. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 584 с.

References

1. Alshammari M.M., Nordin A., Alwan A.A. and Abualkishik A.Z. (2020), "Data Backup and Recovery With a Minimum Replica Plan in a Multi-Cloud Environment", *International Journal of Grid and High Performance Computing*, Vol. 12(2). pp.102-120.
2. Wu Z and Madhyastha H.V. (2013), "Understanding the Latency Benefits of Multi-Cloud Webservice Deployments", *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 43, No. 2, April 2013. pp.14-19.
3. Bittencourt L.F. and Calheiros R.N. (2017), "Middleware for Multicloud", *IEEE Cloud Computing*, Vol. 4(4), pp. 22-25.
4. Koulouzis S., Martin P. and Zhao Z. (2020), "Virtual Infrastructure Optimisation", in Zhao Z., Hellström M. (Eds.), *Towards Interoperable Research Infrastructures for Environmental and Earth Sciences. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12003. Springer, Cham, pp.192-207.
5. Wang P., Zhao C., Wei Y., Wang D. and Zhang Z. (2020), "An Adaptive Data Placement Architecture in Multicloud Environments", *Scientific Programming*, Vol. 2020 [online] <https://www.hindawi.com/journals/sp/2020/1704258/> (Accessed 17 August 2021).

6. Mealha D., Preguiça N., Gomes M.C. and Leitão J. (2019), "Data Replication on the Cloud/Edge", *PaPoC '19: Proceedings of the 6th Workshop on Principles and Practice of Consistency for Distributed Data*, March 2019, Article No.: 7, pp. 1-7.
7. Rafique A., Landuyt D.V., Reniers V. and Joosen W. (2017), "Towards an Adaptive Middleware for Efficient Multi-Cloud Data Storage", *CrossCloud'17*, April 23, 2017, Belgrade, Serbia, [online] <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3069383.3069387> (Accessed 17 August 2021).
8. Viotti P. and Vukolić M. (2016), "Consistency in Non-Transactional Distributed Storage Systems", *ACM Computing Surveys*, Vol. 49(1) [online] <https://doi.org/10.1145/2926965> (Accessed 17 August 2021).
9. Kozina O.A. and Stratienco N.K. (2018), "Zmishana nesuperechnist danykh u bahatokhmarnykh systemakh [Mixed consistency of the data in multicloud systems]", *Advanced Information Systems*, NTU "KhPI", Kharkiv, Vol. 2, № 2. pp. 23-29, [In Ukrainian].
10. Tanenbaum A. and Steen M.V. (2021) "Distributed systems", DMK Press, Moscow, 584 p.

Статтю представив д.т.н., проф. Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Носков В.І.

Надійшла (received) 07.08.2021

Kozina Olha, PhD Tech.,
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kirpicheva str., 2, Kharkov, Ukraine, 61002,
Associate Professor at Department of Computer Science and Information
Technologies;
Tel.:+38-057-707-01-65, e-mail: kozina@kpi.kharkov.ua;
ORCID ID: 0000-0003-0740-7068

Panchenko Volodymyr, Senior Lecturer,
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kirpicheva str., 2, Kharkov, Ukraine, 61002,
Senior Lecturer at Department of Computer Science and Information Technologies;
Tel.:+38-057-707-01-65, e-mail: panchenko.vladimir@gmail.com;
ORCID ID: 0000-0003-3364-3398

Rysovanyi Oleksandr, PhD Tech.,
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kirpicheva str., 2, Kharkov, Ukraine, 61002,
Associate Professor at Department of Computer Science and Information
Technologies;
Tel.:+38-063-306-10-19, e-mail: rysov81524@gmail.com;
ORCID ID: 0000-0003-0616-1617

УДК 004.75

Архітектура проміжного програмного забезпечення для узгодження даних в мультимарних системах / Козіна О.А., Панченко В.І., Рисований О.М. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2021. – № 2 (6). – С. 101 – 112.

Проміжне програмне забезпечення (ППЗ) мультимарних систем має виконувати багато різних функцій щодо управління, контролю та моніторингу ресурсів, що мають взаємодіяти, але можуть мати відмінності у реалізації у кожному провайдері хмарних послуг. У статті запропоновано механізм реалізації моделі монотонного запису для мультимарних систем з гео-розподіленою архітектурою ППЗ. Показано, що географічне розташування модулів ППЗ визначає запропонований механізм синхронізації старту інтервалу узгодження при формуванні номерів глобальної послідовності запису даних клієнтів в бази даних мультимарних систем. Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключові слова: проміжне програмне забезпечення; гео-розподілена архітектура ППЗ; мультимарні системи.

УДК 004.75

Архитектура промежуточного программного обеспечения для согласования данных в мультиоблачных системах / Козина О.А., Панченко В.И., Рысований А.Н. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2021. – № 2 (6). – С. 101 – 112.

Промежуточное программное обеспечение (ППО) мультиоблачных систем должно выполнять много различных функций по управлению, контролю и мониторингу ресурсов, которые должны взаимодействовать, но могут иметь различия в реализации в каждом провайдере облачных услуг. В статье предложен механизм реализации модели монотонной записи для мультиоблачных систем с гео-распределенной архитектурой ППО. Показано, что географическое расположение модулей ППО определяет предложенный механизм синхронизации старта интервала согласования при формировании номеров глобальной последовательности записи данных клиентов в базы данных мультиоблачных систем. Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: промежуточное программное обеспечение; гео-распределенная архитектура ППО; мультиоблачные системы.

UDC 004.75

Middleware architecture for data consistency in multi-cloud systems / Kozina O.A., Panchenko V.I., Rysovanyi O.M. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2021. – № 2 (6). – P. 101 – 112.

Multi-cloud middleware must perform many different resource management, control, and monitoring functions that must interoperate but may differ in implementation in each cloud service provider. A mechanism for monotonic recording model implementation for multi-cloud systems with a geo-distributed middleware architecture is proposed in the article. It is shown, the middleware modules location defines the algorithm of synchronization of start moments of adjusting intervals required to generating the global sequence numbers for customer's data recording into the databases of multi-cloud systems. Figs.: 2. Tabl.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: middleware architecture; geo-distributed middleware architecture; multicloud systems.