

УДК 004.722 : 621.324

Н.Г. Кучук¹, С.М. Нечаусов²¹ Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків² Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків

МЕТОД СТВОРЕННЯ ЄДИНОГО ДИСКОВОГО ПУЛУ ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНОЇ СИСТЕМИ

Розглянутий підхід до створення єдиного дискового пулу гіперконвергентної системи. Запропонований метод враховує стандартні вимоги до гіперконвергентних систем: модульність, апаратне об'єднання обчислювальних потужностей, мінімальну необхідність в первинній настройці, використання типових компонентів. Процес створення розбито на два послідовних етапи: визначення оптимальної логічної структури дискового пулу гіперконвергентної системи за критерієм мінімізації сумарного часу доступу до інформаційних масивів та проведення топологічної оптимізації фізичної структури єдиного дискового пулу за критерієм мінімальних витрат на експлуатацію додаткового обладнання.

Ключові слова: гіперконвергентна система, дисковий пул, центр обробки даних.

Вступ

У аналітичному звіті за 2015 рік компанії Actual Tech Media виділено низку актуальних питань розвитку ІТ-індустрії, серед яких є такі [1]:

– вкрай необхідно знаходити як засоби спрощення ІТ-інфраструктури та зниження її вартості, так і технології, що забезпечують більш швидке повернення інвестицій, як капітальних, так і операційних;

– існує проблема прискорення вводу в експлуатацію великої кількості віртуальних машин в існуючі ІТ-інфраструктури;

– набирають обертів процеси консолідації центрів обробки даних (ЦОД) з метою скорочення витрат та підвищення ефективності.

Відмітимо також, що ІТ-підрозділи багатьох компаній в процесі роботи вимушені були набувати різних типів технологічних компонент, призначених для вирішення приватних проблем у вже існуючих системах. Наприклад, системи кешування на SSD впроваджувалися для підвищення продуктивності систем зберігання даних, WAN-прискорювачі - для швидшої передачі даних по мережі Інтернет, дедублікація в системах резервного копіювання – із-за швидкого зростання даних, що зберігаються тощо. Ці процеси в більшості випадків вимагають спеціального устаткування і програмного забезпечення, що призводить до збільшення складності ІТ-інфраструктури і додаткових витрати на обслуговування.

В останні роки на ринку інформаційних технологій почали набирати суттєвих обертів технології, що орієнтовані на ЦОД, зокрема технології гіперконвергентних інфраструктур [2 – 7].

Гіперконвергентна інфраструктура – це клас рішень, що усувають необхідність в наявності виді-

лених систем зберігання в центрах обробки даних і, в деяких випадках, інших пристроїв, таких, як, наприклад, мережеві маршрутизатори, брандмауери, балансувальники навантаження [2]. Це, звичайно, не означає, що системи зберігання даних (СЗД) більше не є важливою частиною ЦОД. Насправді гіперконвергентні рішення з'явилися через те, що організації стикаються із значними складнощами при експлуатації вже існуючих СЗД: їх складність і вартість зростає непропорційно збільшенню їх ємкості і продуктивності. Відомо, що такі важливі сервіси як віртуалізація робочих столів і аналіз даних вимагають значної продуктивності СЗД. Проте, навіть базові сервіси вимагають збільшення продуктивності існуючих систем зберігання, оскільки компанії постійно розширюють список віртуалізованих сервісів [7].

Гіперконвергентна інфраструктура була розроблена, щоб вирішити проблеми продуктивності, масштабування, складності і вартості, які переслідують ІТ в останній час [3 – 5]. Ці системи повертають ІТ до парадигми DAS (direct-attached storage) – підсистеми зберігання, підключеної безпосередньо до стандартного сервера, але багато рішень значно розширюють цю парадигму новими можливостями [7]. Такі системи будуються на базі стандартних серверів, зі встановленим на них традиційним гіпервізором, але, додатково, застосовується спеціальне програмне забезпечення, що поставляється виробником гіперконвергентного рішення. Є розробники, які доповнюють свої рішення функціями дедублікації і стискування даних, оптимізації WAN-каналів, захисту даних і шлюзами до хмарних сервісів [4 – 7].

На базовому рівні дане програмне забезпечення об'єднує дискові підсистеми всіх вузлів в єдиний пул і надає цей пул гіпервізору як загальний дисковий

простір для використання віртуальними машинами. По суті, гіперконвергентна інфраструктура використовує концепцію програмно-визначуваних систем зберігання (software-defined storage) для модернізації і спрощення архітектури ЦОД.

У основі ідеології гіперконвергентності лежать такі поняття, як [3, 4]:

- модульність;
- апаратне об'єднання обчислювальних потужностей, дискової підсистеми і мережевого комутатора;

- мінімальна необхідність в первинній настрійці для запуску в роботу;

- використання типових компонентів.

Головні переваги гіперконвергентних систем – простота розгортання і низька вартість [4, 7], зокрема з погляду подальшого масштабування. Висока автоматизація і управління на основі заданих правил дозволяють гнучко і легко управляти розподілом ресурсів і робочого навантаження.

Слід відзначити, що меншими стають і витрати на електроживлення [7], а також на охолодження. Багато традиційних рішень вимагають великих об'ємів подачі електроживлення, що, іноді, буває просто неможливо в деяких ЦОД.

Для виконання вищеписаних вимог необхідно у ЦОД створити єдиний дисковий пул зовнішньої пам'яті, котрий дозволить забезпечити гнучке управління розподілом ресурсів і робочого навантаження. Це і є **метою даної статті**.

1. Визначення логічної структури дискового пулу

При визначенні логічної структури (ЛС) дискового пулу гіперконвергентної системи (ДПГКС) будемо дотримуватись такої послідовності дій згідно із вимогами до гіперконвергентних інфраструктур [3, 4, 8]:

- відображення множини додатків прикладного Software в концептуальній схемі;
- перехід до канонічної структури ДПГКС без надмірних зв'язків [7];
- розробка на базі канонічної структури оптимальної логічної структури ДПГКС (щодо вибраного критерію оптимальності).

Як критерій оптимальності в [8] пропонується вибрати мінімум сумарної кількості доступів по зв'язках логічної структури. Проте при синтезі ЛС ДПГКС необхідно враховувати гетерогенність середовища, тобто суттєву різномірність як фізичних зв'язків, так і використовуваної зовнішньої пам'яті. Тому пропонується модифікація даного критерію: мінімізувати на заданому часовому інтервалі сумарний час доступу до ДПГКС.

Нехай $V = \{v_i \mid i = \overline{1, m}\}$ – множина інформаційних сегментів (ІС); які взаємодіють з ДПГКС ЦОД; $W = \{\omega_j \mid j = \overline{1, n}\}$ – множина зв'язків між елементами V , що визначається відображенням $\psi: \tilde{V} \rightarrow W$, $\tilde{V} \subseteq V \times V$. Тоді шукана канонічна структура представляється орієнтованим графом $G = (V, (W\psi))$. Для кожної k -ої транзакції до ДПГКС з множини $R = \{r_k \mid k = \overline{1, \ell}\}$ визначимо частоту запуску за даний часовий період – f_k , а також кортеж задіяних ІС для ДПГКС (вершин графа G) – $Z_k = \langle v_{i_k}^{(k)} \mid i_k \in \overline{1, m_k} \rangle$, де m_k ($m \geq m_k$) – кількість вершин кортежу з номером k , якому відповідає шлях на графові G з початком у вершині $v_1^{(k)}$ і кінцем у вершині $v_{m_k}^{(k)}$. При цьому між сусідніми вершинами будь-якого кортежу повинен існувати логічний зв'язок.

Розглянемо дві множини: $A = \{\alpha_\beta \mid \beta = \overline{1, \beta_A}\}$ – можливі варіанти логічних структур даної ДПГКС; $B = \{b_\gamma \mid \gamma = \overline{1, \gamma_B}\}$ – варіанти реалізації зв'язків між ІС у логічній структурі. Конкретний варіант логічної структури α_β для варіанту реалізації зв'язку b_γ опишемо булевою матрицею $X_{\beta\gamma} = (x_{j\gamma'})$, в якій $x_{j\gamma'} = 1$, якщо зв'язок ω_j реалізований за варіантом γ' .

З множини $\Theta_X = \{X_{\beta\gamma}\}$ виділимо підмножину $\Theta_{\tilde{X}} \subset \Theta_X$ матриць $X_{\beta\gamma}$, в яких фізично реалізуються всі непорожні зв'язки. При реалізації математичної моделі логічної структури ДПГКС будемо дотримуватись таких обмежень.

1. Кожен зв'язок логічної структури, що синтезується, реалізується тільки одним варіантом, отже

$$\sum_{\gamma'=1}^{\gamma_B} x_{j\gamma'} = 1, \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

2. Всі вибрані зв'язки повинні фізично реалізуватися, тобто

$$X_{\beta\gamma} = (x_{j\gamma'}) \subset \Theta_{\tilde{X}}. \quad (2)$$

3. Сумарний об'єм задіяної зовнішньої пам'яті при реалізації переходів від кортежів Z_k до логічних структур ДПГКС не повинен перевищувати граничного значення d_{lim} , тобто

$$\sum_{j=1}^n \sum_{\gamma'=1}^{\gamma_B} d_{j\gamma'} \cdot x_{j\gamma'} \leq d_{lim}, \quad (3)$$

де $d_{j\gamma'}$ – об'єм зовнішньої пам'яті, необхідної для варіанту γ' .

Оскільки обраний критерій оптимальності логічної структури припускає мінімізацію сумарного часу доступу до необхідної інформації ДПГКС в процесі її функціонування, то цільова функція має вигляд

$$\sum_{k=1}^{\ell} f_k \cdot \left(\sum_{j=1}^n \sum_{\gamma'=1}^{\gamma_{\beta}} t_{j\gamma'} \cdot \ell_{kj} \cdot x_{j\gamma'} \right) \rightarrow \min, \quad (4)$$

при $j \in \left\{ \psi \left(v_{k'}^{(k)}, v_{k'+1}^{(k)} \right) \mid k' \in \overline{1, m_k - 1} \right\}$,

де $t_{j\gamma'}$ – час пересилки одного логічного блоку за j -м зв'язком у варіанті γ' , ℓ_{kj} – середній розмір одного запиту транзакцій з номером k , що пересилається шляхом j .

Тоді для знаходження оптимальної логічної структури ДПГКС необхідно вирішити задачу лінійного булева програмування (1) – (4).

2. Топологічна оптимізація фізичної структури дискового пулу

Знаючи логічну структуру ДПГКС можна вибрати топологію фізичної структури єдиного дискового пулу (ЄДП), обслуговуючого гіперконвергентну систему ЦОД, оптимальну щодо обраного критерію. Припустимо, що ЄДП описується графом G_S з булевою матрицею суміжності $X = (x_{ij})_{n,n}$, $i, j \in \overline{1, n}$, де n – кількість вузлів ЄДП, а $x_{ij} = 1$ тільки тоді, коли між вузлами i і j є прямий зв'язок для передачі даних. Булева матриця $Y = (y_{ij})_{n,n}$ описує варіанти організації зв'язку між вузлами ЄДП: $y_{ij} = 1$, якщо існуючий зв'язок є достатнім із середніми витратами ресурсу за часовий період, що розглядається, у розмірі a_{ij} , і $y_{ij} = 0$, якщо зв'язок потребує додатково b_{ij} умовних одиниць ресурсу. Матриця $T = (t_{ij})_{n,n}$ описує середнє завантаження ЄДП, матриця $C = (c_{ij})_{n,n}$ – вагові коефіцієнти каналів доступу, визначені методом експертних оцінок [9], булева матриця $D = (d_{ij})_{n,n}$ – відсутність можливості прямого зв'язку між вузлами, булева матриця $E = (e_{ij})_{n,n}$ – необхідність додаткового з'єднання відповідно до ЛС. У даних позначеннях завдання топологічної оптимізації ЄДП формулюється таким чином.

Знайти граф G_S^{opt} з матрицями суміжності X_{opt} і зв'язків Y_{opt} , при якому мінімальна сума

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} (a_{ij} y_{ij} + b_{ij} t_{ij} (1 - y_{ij})) \quad (5)$$

з урахуванням таких обмежень:

– по можливості прямому зв'язку

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij} x_{ij} = 0;$$

– по необхідних додаткових з'єднаннях

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n l_{ij} (1 - x_{ij}) = 0;$$

– по l -кратному дублюванню (тобто граф G_S^{opt} – l -зв'язний);

– по довжинах найкоротших і обхідних маршрутів графа G_S^{opt} [4].

Третє і четверте обмеження вищеописаної задачі не дозволяють вирішити її стандартними методами дискретного програмування для ЄДП великої розмірності. Проте при ослабленні обмежень досить просто отримати нижню оцінку суми [6]. Замість третьої умови зв'язності введемо необхідну умову $\sum_i x_{ij} \geq \ell$, а замість четвертої –

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} = 2M \quad (\text{умова точної кількості ребер графа } G_S^{opt} - M).$$

Тоді задача знаходження нижньої оцінки формулюється таким чином:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} (a_{ij} y_{ij} + b_{ij} t_{ij} (1 - y_{ij})) \rightarrow \min, \quad (6)$$

при виконанні таких умов:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \ell_{ij} (1 - x_{ij}) = 0; \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij} x_{ij} = 0; \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ij} = 2M; \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq \ell; \quad i, j \in \overline{1, n}. \quad (10)$$

Для вирішення задачі (7) – (10) пропонується така послідовність дій [10]:

– перетворення елементів матриць A і B :

$$(a_{ii} = \infty \wedge b_{ii} = \infty) \wedge (d_{ij} = 0 \Rightarrow a_{ij} = b_{ij} = \infty);$$

– ранжування елементів матриць A і B з урахуванням E .

– нормування відрядкових сум $S_i^{(l)}$ l перших елементів матриць A і B , отримання

$$S^{(l)} = \sum_{i=1}^n S_i^{(l)};$$

– ранжування тих $2(n^2 - l \cdot n)$ елементів, що залишилися, з отриманого рядка вибираються і підсумовуються перші $l \cdot n$ елементів ($S^{(2)}$);

– обчислення нижньої оцінки вартості

$$S^{(M)} = (S^{(1)} + S^{(2)}) / 2.$$

Це дозволяє на декілька порядків скоротити кількість переборів при розв'язанні задачі (7) – (10) послідовним переглядом тільки *l*-зв'язних графів, що мають рівно *M* ребер [11], з паралельним порівнянням оптимального значення вартості з нижньою оцінкою $S^{(M)}$.

Висновки та напрям подальших досліджень

Таким чином, у статті запропонований *vtnj* створення єдиного дискового пулу зовнішньої пам'яті, котрий дозволить забезпечити гнучке управління розподілом ресурсів і робочого навантаження у гіперконвергентній системі забезпечення функціонування ЦОД. На першому етапі визначається оптимальна логічна структура єдиного дискового пулу гіперконвергентної системи за критерієм мінімізації сумарного годині доступу до інформаційних масивів. На другому етапі проводиться топологічна оптимізація фізичної структури єдиного дискового пулу за критерієм мінімальних витрат на експлуатацію додаткового обладнання.

Напрямок подальших досліджень пов'язаний з розробкою методу управління інформаційними потоками ЦОД.

Список літератури

1. 2015 State of Hyperconverged Infrastructure Market Report [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.hyperconverged.org/2015-hyperconvergence-market-report/>.
2. Тарасенко С. Состояние рынка гиперконвергентных решений [Електронний ресурс] / С. Тарасенко // Технический блог компании Тринити. Новости и обсуждение новинок на

рынке серверов, систем хранения данных, виртуализации, кластерных и сетевых технологий. – Режим доступу: http://blog.trinitygroup.ru/2015_05_01_archive.html.

3. Гиперконвергентная инфраструктура [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://servergid.ru/solution/giperkonvergentnaja-infrastruktura>.

4. Таунсенд К. Гиперконвергентные системы: что нужно знать? [Електронний ресурс]. / Кейт Таунсенд. – Режим доступу: <http://channel4it.com/publications/Giperkonvergentnye-sistemy-cto-nuzhno-znat--2140.html>.

5. Наступление эпохи гиперконвергентности [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://habrahabr.ru/company/emc/blog/259447/>.

6. Референсная гиперконвергентная платформа хранения данных [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.intel.com/business/community/?automodule=blog&blogid=7605&showentry=5235>.

7. Simplified Microsoft Exchange Deployments Using Maxta Hyper-converged Solutions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/storage/maxta-storage-white-paper.html?>

8. Кучук, Г.А. Информационные технологии управления интегральными потоками данных в информационно-телекоммуникационных сетях систем критического назначения: монография [Текст] / Г.А. Кучук. – Х.: ХУ ПС, 2013. – 264 с.

9. Кучук, Г.А. Концептуальный подход до синтеза структуры информационно-телекоммуникационной сети [Текст] / Г.А. Кучук, І.В. Рубан, О.П. Давікоза // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вып. 7 (114). – С. 106 – 112.

10. Кучук, Г.А. Моделирование трафика мультисервисной распределенной телекоммуникационной сети [Текст] / Г.А. Кучук, І.Г. Кіріллов, А.А. Пашичев // Системы обработки информации. – Вып. 9 (58). – Х.: ХУ ПС, 2006. – С. 50 – 59.

11. Сергиенко, И.В. Модели и методы решения на ЭВМ комбинаторных задач оптимизации [Текст] / И.В. Сергиенко, М.Ф. Каспицкая. – К.: Наук. думка, 1981. – 287 с.

Надійшла до редколегії 20.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ДИСКОВОГО ПУЛА ГИПЕРКОНВЕРГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

Н.Г. Кучук, С.Н. Нецаусов

Рассмотрен подход к созданию единого дискового пула гиперконвергентной системы. Предложенный метод учитывает стандартные требования к гиперконвергентным системам: модульность, аппаратное объединение вычислительных мощностей, минимальную необходимость в первичной настройке, использование типовых компонент. Процесс создания разбит на два последовательных этапа: определение оптимальной логической структуры дискового пула гиперконвергентной системы по критерию минимизации суммарного времени доступа к информационным массивам и проведению топологической оптимизации физической структуры единого дискового пула по критерию минимальных расходов на эксплуатацию дополнительного оборудования.

Ключевые слова: гиперконвергентная система, дисковый пул, центр обработки данных.

METHOD OF CREATION OF THE UNIFORM DISK POOL OF HYPER CONVERGENT SYSTEM

N.G. Kuchuk, S.N. Nechausov

Approach to creation of a uniform disk pool of hyper convergent system is considered. The offered method takes into consideration standard requirements to hyper convergent systems: modularity, hardware association of computing capacities, minimum need of initial configuration, standard component usage. Process of creation is divided on two consecutive stages: an optimal logical structure of a disk pool of hyper convergent system determination by criterion of total access time to information datasets minimization and carrying out topological optimization of the uniform disk pool physical structure by criterion of the minimum expenses on operation of the additional equipment.

Keywords: hyper convergent system, disk pool, data-processing center.