

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ДАТА-ЦЕНТРУ НА ОСНОВІ ДОСЯГНЕННЯ БАЛАНСУ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ

Стаття досліджує важливі аспекти забезпечення доступності інформації у Дата-Центрі (ДЦ). Зокрема, автори розглядають питання оцінки та синтезу продуктивності розподілених інформаційних систем (РІС) з метою досягнення оптимальних параметрів пропускної здатності та часу відгуку. Запропоновано методи побудови часових профілів для оцінки та аналізу продуктивності РІС у ДЦ. Застосування цих профілів дає можливість кількісно оцінити характеристики розподілених інформаційних систем та синтезувати системи з заданими параметрами продуктивності. Автори вказують на важливість узгодження параметрів пропускної здатності та часу відгуку між елементами системи для забезпечення неперервності роботи ДЦ та доступності інформації. Дослідження показує, що застосування розглянутих методів дає можливість апріорного формування структури ІС ДЦ з врахуванням попередньо визначених параметрів доступності інформації. Отримані результати є важливим кроком у напрямку забезпечення безперебійної роботи розподіленої системи Дата-Центру та підвищення доступності інформації у центрі обробки даних. Такий підхід може мати велике значення для прогресу та розвитку сучасних інформаційних технологій, зокрема, у плані підвищення ефективності роботи ДЦ та забезпечення надійності систем управління даними.

Ключові слова: Дата-Центр, розподілена інформаційна система, часовий профіль, послідовний виконавець, пропускна спроможність, час відгуку системи.

Вступ

Створення інформаційної інфраструктури та впровадження нових технологій обробки даних є ключовими етапами інформатизації країни. Серцевиною інформаційної інфраструктури стають сучасні Дата-Центри (ДЦ), які вже зараз представляють собою складний розподілений програмно-апаратний комплекс, спроектований для вирішення різноманітних завдань.

Для ефективного управління великими обсягами інформації у ДЦ використовується модель багаторівневого зберігання даних, що передбачає ієрархічний розподіл інформації в залежності від рівня її актуальності для користувачів. Крім того, використовується система резервного копіювання та відновлення даних – програмно-апаратний комплекс, який запобігає втраті інформації у разі виникнення проблем з обладнанням, помилок у програмному забезпеченні або внаслідок дій користувачів. Це забезпечує повне відновлення інформації в найкоротший термін, зменшує час простою ДЦ та усуває пов'язані з цим матеріальні збитки.

Мережева структура Дата-Центру реалізується через використання комутованої мережі, яка з'єднує різні компоненти ДЦ, такі як програми, сервери, спеціалізовані пристрої, системи зберігання та користувачі. У мережевій архітектурі ДЦ визначається чотири ключові складові (рис. 1) [1]:

1. Мережа високопродуктивних обчислень призначена для забезпечення взаємодії серверів у високопродуктивних кластерах.
2. Мережа зберігання даних спрямована на консолідацію ресурсів пам'яті для ефективнішого їх розподілу та використання.
3. Мережа взаємозв'язку з резервним ДЦ з'єднує основний та резервний центри через оптичні або традиційні мережі, забезпечуючи реплікацію та дзеркалювання даних.
4. Мережа доступу, яка забезпечує безпечний доступ для користувачів.

Безперервна робота всіх компонентів ДЦ є неможливою без застосування спеціальних рішень щодо фізичної та інформаційної безпеки. Системи фізичної безпеки ДЦ призначені для захисту обладнання від пожеж, термічних пошкоджень, води, затоплення та електромагнітного випромінювання. Водночас, однаково важливим є забезпечення доступності інформації через організацію безперервної та надійної роботи всього комплексу ДЦ. Для мінімізації ризиків та скорочення термінів окупності загального проекту ДЦ необхідно передбачати показники ефективності утворюючих його мереж ще на етапі

проектування. Один із ключових показників ефективності, який впливає на доступність інформації в інформаційній системі (ІС), – це продуктивність розподіленої інформаційної системи.

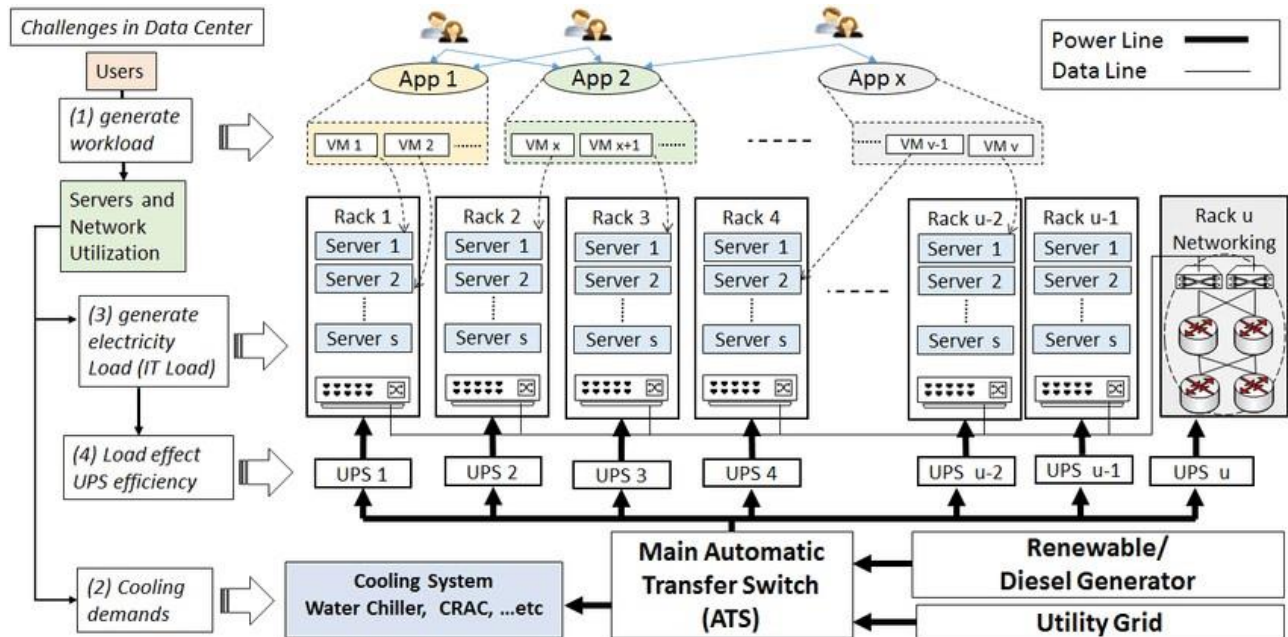


Рис. 1. Загальний обрис інформаційної інфраструктури Дата-Центру [1]

Зазначені положення стають ще більш актуальними, коли мова йде про розгляд систем з розподіленою архітектурою, зокрема розподілених інформаційних систем (РІС). Зростання обчислювальних можливостей апаратних платформ та нерівномірне оновлення обчислювальної техніки в державі викликають ситуацію, коли матеріальна база РІС, що взаємодіє з ДЦ, складається з різномірних за потужністю апаратних засобів. Робота цих засобів повинна бути згоджена з урахуванням продуктивності та індивідуальних особливостей побудови програмного забезпечення.

Особливості застосування зазначених РІС в ДЦ включають:

- багаторівневий ієрархічний характер архітектури;
- відсутність загального централізованого управління обчислювальним процесом;
- відсутність єдиного скоординованого часу в системі;
- наявність конфліктів і ресурсів, які спільно використовуються.

В зв'язку з цим виникає **загальна проблема** теоретичного обґрунтування процесів функціонування РІС в ДЦ та оцінювання продуктивності з урахуванням технічних параметрів складових елементів. Ще одним аспектом є необхідність врахування можливості реалізації РІС на різномірних апаратних засобах в умовах обмежених обчислювальних можливостей.

Аналіз літературних джерел

Проблема визначення продуктивності РІС ДЦ пов'язана з необхідністю створення математичних моделей, які можуть адаптуватися до різних характеристик при створенні прогностичних коефіцієнтів. Один із таких підходів базується на використанні калібрувального методу [2]. Проте ця модель виявляється непридатною для опису великих систем, які мають сотні і тисячі вузлів.

Традиційні моделі для паралельних систем не передбачають змінної кількості обчислювального простору і тому продуктивність розподілених додатків, як правило, оцінюється на якісному рівні. Останнім часом отримали розвиток технології розподілених обчислень [3], які використовуються для розв'язання великих завдань за участі різномірних

обчислювальних ресурсів, де обчислювальні вузли можуть приєднуватися або виходити з системи у будь-який момент. І, хоча модель у [3] враховує деякі особливості мобільних РІС, вона не надає можливості кількісно оцінювати загальну продуктивність такої системи.

У роботі [4] представлено модель, яка базується на двоступеневій техніці апроксимації, де основний немарківський процес спочатку моделюється як вкладений напівмарківський процес, який потім моделюється як апроксимований процес Маркова, але тільки в моменти надходження групових потоків запитів. Однак обмеженість цієї моделі полягає в необхідності заздалегідь знати розклад роботи системи. В роботі [5] для систем "з розкладом" автором запропоновано механізм ефективного розподіленого планування через черги повідомлень. Змінюючи параметри системи, можна отримати оцінку ефективності та достовірності розподіленої багаторівневої системи, в тому числі і виявлення зловмисного програмного забезпечення в комп'ютерних системах локальних мереж [6]. Однак такий підхід не дозволяє заздалегідь обчислювати кількісні характеристики системи на основі аналітичних розрахунків.

У роботі [7] запропоновано оцінювати продуктивність розподілених інформаційних систем із сервіс-орієнтованою архітектурою, враховуючи залежність пропускну здатності базової телекомунікаційної мережі від ймовірності втрати запитів в системі на основі ієрархічних кольорових мереж Петрі. Проте цей підхід не надає можливості здійснювати алгоритмічний аналіз роботи мережі. У статті [8] алгоритми оцінювання базуються на визначенні часу виконання завдань, що залежить від різних факторів, таких як архітектура системи, середовище паралельних обчислень та властивості використовуваних програмних засобів. Однак автори визначають труднощі, пов'язані з комплексним врахуванням цих факторів. У [9] основний фокус робиться на оцінці властивостей потоків та їх впливу на загальну продуктивність системи. Водночас відмічаються труднощі врахування питань синхронізації потоків, особливо при використанні об'єктів та змінних, розподілі даних між потоками та узгодженні обчислювального навантаження. У [10] подається порівняльний аналіз технологій оцінювання продуктивності, що використовуються в Cloud/Jungle/Fog Computing. Але такі парадигми є постфакторними та потребують достатньої статистики роботи системи. Априорна оцінка продуктивності залишається проблемною задачею.

Крім того, ці роботи не враховують індивідуальні апаратні особливості елементів системи: багаторівневу архітектуру, відсутність централізації та координації часу, наявності конфліктів та ресурсів, які спільно використовуються.

Мета та завдання дослідження

Метою цієї роботи є розробка технології для забезпечення доступності інформації в Дата-Центрі, ґрунтуючись на оцінці балансу продуктивності системи. Для досягнення поставленої мети передбачено наступні кроки:

визначення структури та створення опису функціонування інформаційної системи, яка призначена для розподіленого виконання завдань;

розробка методу для оцінювання ключових аспектів продуктивності розподілених інформаційних систем у Дата-Центрі;

визначення основних показників продуктивності та визначення процедури їх розрахунку;

проведення моделювання розподілених інформаційних систем на основі основних показників продуктивності.

Основні параметри продуктивності розподіленої інформаційної системи

Одним з визначальних факторів впливу на доступність інформації у розподіленій системі є забезпечення балансу продуктивності окремих її елементів. Для побудови моделі продуктивності процес функціонування розподіленої інформаційної системи доцільно подати як взаємодію процесів роботи програмних об'єктів (модулів) з логічним середовищем платформи у деякому фізичному середовищі системи. При цьому сукупність платформ та модулів утворює послідовного виконавця. У свою чергу, сукупність послідовних виконавців

утворює розподіленого виконавця в інформаційній системі. Послідовність дій виконавця складається з окремих кроків, які фіксуються логічним середовищем платформи, що і дозволяє побудувати часовий профіль його роботи.

Для забезпечення можливості кількісного оцінювання різноманітних аспектів функціонування РС скористаємось підходом [12 – 15], де зазначається, що основні види продуктивності можуть бути отримані на основі часової діаграми роботи комп'ютерної системи. Тому, на цьому етапі нашою метою є отримання часової діаграми роботи системи. Цю діаграму можна описати за допомогою часового профілю.

Часовий профіль роботи розподіленої системи DS назовемо вектор-функцію

$$TimeProfile(t) = (SerialPerformerTimeProfile_1(t), \dots, SerialPerformerTimeProfile_n(t)), \quad (1)$$

де $SerialPerformerTimeProfile_i(t)$, $i=1 \dots n$ – часовий профіль послідовного виконавця, з множини яких і утворено розподілену систему.

Часовий профіль послідовного виконавця $SerialPerformer_i$ визначимо, як однозначну функцію $SerialPerformerTimeProfile_i(t)$, визначену на R , з областю значень – множина кортежів виду $\langle process, step, operation, action_i \rangle$, де $process \in P$ – процес, $step \in S(p)$ – крок, $operation \in cx(s)$ – дія, $action_i \in w(q_i)$ – атомарний процес послідовного виконавця $SerialPerformer_i$. Завдання побудови $TimeProfile(t)$ для системи розбивається на два етапи:

1. Для кожного $SerialPerformer_i$ визначити послідовність виконуваних ним дій;
2. Для кожної дії визначити час, необхідний даному $SerialPerformer_i$ на її виконання.

Кожен з кроків передбачає певну сукупність операцій у системі $cx(s) = \langle \text{вибір_об'єкта, активація, обчислення, \dots} \rangle$, які визначають функціональність модулів у системі. У свою чергу, кожна дія складається з множини атомарних процесів, що виконуються машиною під час реалізації дій $w(q_i) = \langle \text{старт, запит, \dots, стоп, пауза} \rangle$.

Кожен атомарний процес володіє деякою тривалістю його виконання, сумарна тривалість сукупності атомарних процесів і визначатиме загальний час виконання програми при вирішенні певних задач. Знаючи часовий профіль поведінки системи, можна отримати оцінки різних видів продуктивності, а також вивести співвідношення, що зв'язують основні форми продуктивності з різними кількісними характеристиками функціонування системи.

Нехай дано розподілену систему, яка складається з Q послідовних виконавців. Введемо змінні, що характеризують функціонування системи:

$Time$ – тривалість періоду функціонування DS за астрономічним часом;

$TaskNumber$ – число завдань, виконаних DS за період спостереження.

Завдання можна розуміти як виконання операції, функції, кроку, команди і тому подібне.

Позначимо:

$$Bandwidth = \frac{TaskNumber}{Time} \text{ – пропускна спроможність системи } DS;$$

$TimePart_i$ – кількість часу, який i -й послідовний виконавець з DS , був зайнятий виконанням завдання з $TaskNumber$;

$$Load_i = \frac{TimePart_i}{Time} \text{ – завантаження } i\text{-го виконавця};$$

$ActionNumber_i$ – загальна кількість дій, виконаних i -м послідовним виконавцем протягом періоду $Time$.

$$PerformerPower_i = \frac{TimePart_i}{ActionNumber_i} \text{ – середній час роботи } i\text{-го послідовного виконавця (це}$$

потужність виконавця, яка залежить від продуктивності його апаратних засобів та організації процесу);

$ActionAverage_i = \frac{ActionNumber_i}{TaskNumber}$ – середнє число дій i -го об'єкта на одне завдання з $TaskNumber$.

У цих позначеннях справедливим буде наступне твердження.

Пропускна спроможність i -го послідовного виконавця $i=1\dots Q$ може бути визначена за співвідношенням

$$Bandwidth_i = \frac{Load_i}{PerformerPower_i \times ActionAverage_i}, i=1..Q. \quad (2)$$

Як наслідок, можна встановити

$$\forall i, j | i=1..Q, j=1..Q \Rightarrow \Rightarrow \frac{Load_i}{PerformerPower_i \times ActionAverage_i} = \frac{Load_j}{PerformerPower_j \times ActionAverage_j} \quad (3)$$

Це співвідношення є аналогом рівняння збереження, яке часто використовується в моделях фізичних систем.

Приклад залежності пропускної спроможності $Bandwidth$ від потужності $PerformerPower_i$ та середнього числа дій $ActionAverage_i$ при $Load_i=1$ наведено на рис. 2.

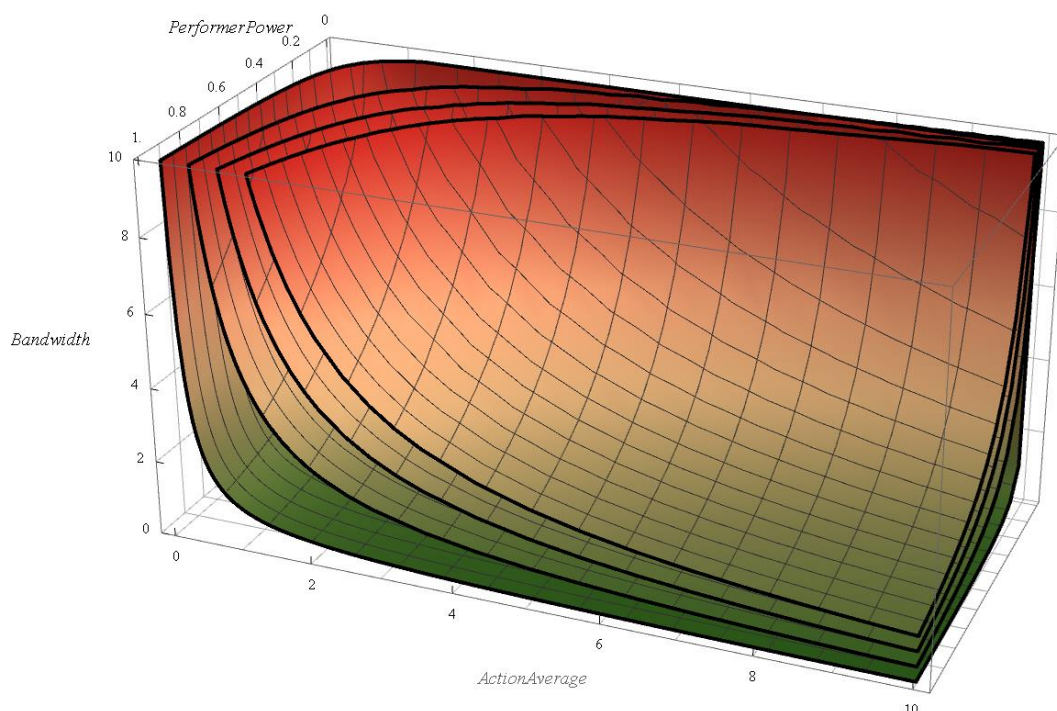


Рис. 2. Залежність пропускної спроможності системи від потужності виконавця та середнього числа дій на одне завдання

Як бачимо, збільшення числа дій на одну задачу $ActionAverage_i$, або зменшення потужності (збільшення часу $PerformerPower_i$), однозначно призводять до зменшення пропускної спроможності виконавця.

Також визначимо співвідношення між потужністю послідовного виконавця $PerformerPower_i$, числом виконуваних ним дій $ActionNumber_i$ при рішенні задачі і відношенням часу обчислення $TimePart_i$ до часу обміну $ExchangeTime_i$: $\lambda_i = \frac{ExchangeTime_i}{TimePart_i}$, де

$Time \geq ExchangeTime_i + TimePart_i$.

Оскільки послугою тепер є рішення однієї задачі, то $TaskNumber = 1$ і

$$Bandwidth = \frac{1}{Time} = \frac{Load_i}{ActionNumber_i \times PerformerPower_i}. \quad (4)$$

Оскільки $TimePart_i \leq Time - ExchangeTime_i$, то $1 \leq \frac{Time - ExchangeTime_i}{TimePart_i}$ і тоді

$$\lambda_i = \frac{1}{Load_i} - 1 \Rightarrow Load_i \leq \frac{1}{(\lambda_i + 1)}. \quad (5)$$

Звідки $\frac{Time}{(\lambda_i + 1)} \geq PerformerPower_i \times ActionNumber_i$ або

$$\frac{Time}{(\lambda_i + 1) \times ActionNumber_i} \geq PerformerPower_i. \quad (6)$$

Мінімальний час обчислення, який повинен виділятися на один обмін при заданій пропускній спроможності, можна визначити, представивши $ExchangeTime_i = m \times UnitTime_i$, тобто розіб'ємо час обміну на m частин. Відповідно до введених позначень необхідно визначити $\gamma = \frac{TimePart_i}{m}$.

З попереднього виразу отримаємо:

$$\frac{Time}{\left(\frac{1 + m \times UnitTime_i}{TimePart_i}\right) \times ActionNumber_i} \geq PerformerPower_i \quad (7)$$

звідки

$$Time \geq PerformerPower_i \times ActionNumber_i \times \left(\frac{1 + UnitTime_i}{\gamma}\right), \quad (8)$$

або

$$\left(\frac{1 + UnitTime_i}{\gamma}\right) \leq \frac{Time}{PerformerPower_i \times ActionNumber_i}. \quad (9)$$

Звідки, виражаючи γ , отримуємо:

$$\gamma \geq UnitTime_i \times \frac{PerformerPower_i \times ActionNumber_i}{Time - PerformerPower_i \times ActionNumber_i}. \quad (10)$$

Розподіл задач. Тепер завдання щодо поділу задач на розподіленій системі DS можна сформулювати так:

1. Дано: $Number$ – загальна кількість дій, які треба виконати за час $Time$;
2. Треба так розподілити ці дії між Q виконавцями щоб:

$$\frac{Time}{(1 + \lambda_i) \times ActionNumber_i} \geq PerformerPower_i \quad \text{або} \quad \frac{Time}{PerformerPower_i} \geq ActionNumber_i \times (\lambda + 1), \quad \text{де}$$

$$\sum_{i=1}^m ActionNumber_i = Number, \quad \lambda_i = \frac{ExchangeTime_i}{TimePart_i} \quad \text{і} \quad Time \geq ExchangeTime_i + TimePart_i.$$

Знаючи часовий профіль $TimeProfile(t)$, можна отримати набір операційних змінних $Load$, $ExchangeTime_i$, $TaskNumber$ і $Time$. Візьмемо у якості завдання виконання процесу у системі, а як дію – атомарний процес послідовного виконавця. Тоді:

$$TaskNumber = \sum_{i=1}^Q TaskNumber_i, \quad (11)$$

де $TaskNumber_i = \sum_{t_k \in Time} SerialPerformerTimeProfile(t_k)$ (t_k – момент закінчення процесу, наприклад, звернення до $Stop$ в профілі g_i).

$TimePart_i = \sum_{p=P}^{Time} \int_0^{t_k} \chi_p(t_k) dt$, де $\chi_p(t)$ – характеристична функція кроку процесу p , тобто $\chi_p(t)=1$ якщо $SerialPerformerTimeProfile_i(t) = \langle process, step, operation, action \rangle$, або $\chi_p(t)=0$ у протилежному випадку.

$$ActionNumber_i = \sum_{p \in P} \int_0^{Time} \delta_i(t) dt, \quad \text{де} \quad \delta_i(t) – \text{функція, яка приймає значення 1 у момент зміни}$$

значення $g_i(t)$ і дорівнює 0 в решту моментів часу.

Час відгуку системи. Нехай на DS розташовано N модулів, до яких надходять запити. У якості завдання візьмемо виконання j -м модулем ($j = 1 \dots N$) запиту. Припускаємо, що N не змінюється протягом періоду спостереження. Введемо наступні позначення:

$RequestNumber$ – число запитів, виконаних за період спостереження $Time$;

$TaskNumber$ – число завдань, що надійшли в систему за період спостереження;

$WorkTime(k)$ – час корисної роботи k -го модуля;

$DownTime(k) = Time - WorkTime(k)$ – час “простою” k -го модуля.

Середній час виконання завдання (час відгуку) можна виразити як

$$AveragePerform = \frac{1}{RequestNumber} \times \sum_{k=1}^{Number} WorkTime(k). \quad (12)$$

Середній час очікування запиту можна виразити як

$$AverageWaiting = \frac{1}{TaskNumber} \times \sum_{k=1}^{Number} DownTime(k). \quad (13)$$

Взаємозв'язок між часом відгуку і пропускною спроможністю системи може бути визначено на основі співвідношення:

$$AveragePerform = \frac{Number}{Bandwidth} - DownTime \times \frac{TaskNumber}{RequestNumber}. \quad (14)$$

Приклад залежності часу відгуку $AveragePerform$ від $Bandwidth$ та відношення $\frac{TaskNumber}{RequestNumber}$ для $Number = 5$ та $DownTime = 2$ наведено на рис. 3. Як бачимо, при збільшенні пропускної спроможності системи $Bandwidth$ час відгуку системи зменшується, досягаючи 0, коли $\frac{Number}{Bandwidth} = DownTime \times \frac{TaskNumber}{RequestNumber}$.

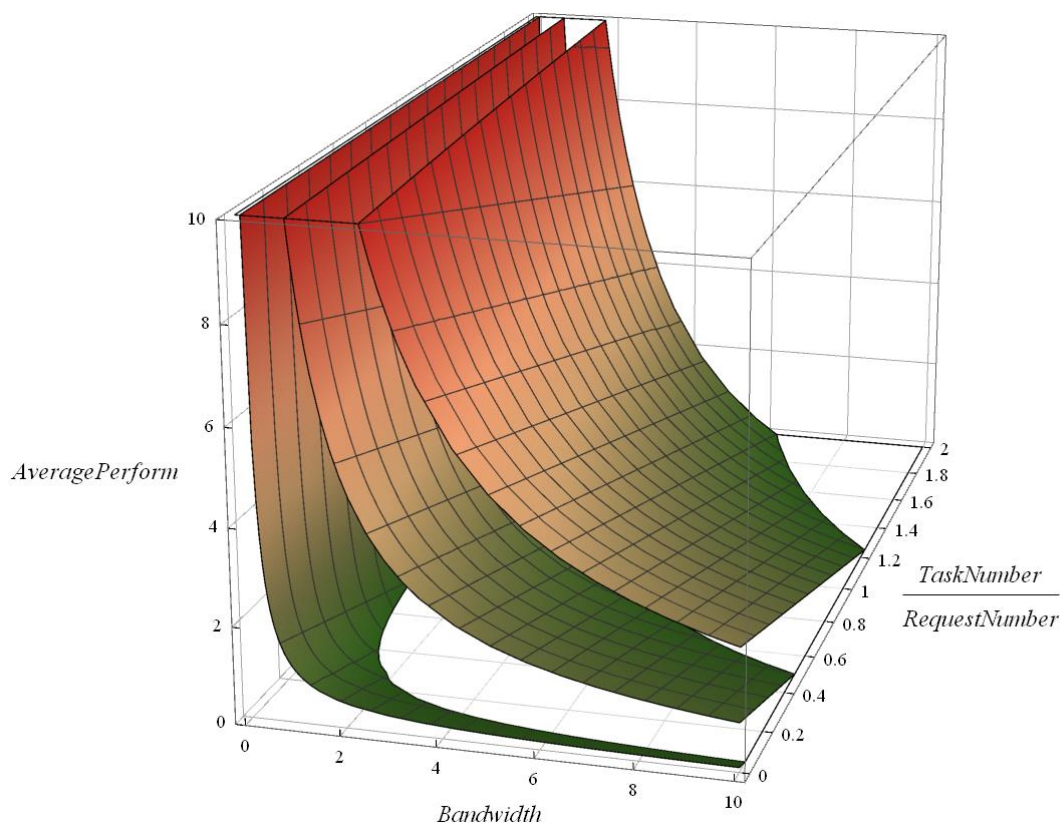


Рис. 3. Залежність часу відгуку системи від пропускної спроможності та відносної кількості невиконаних заявок

Наведені вирази дозволяють кількісно оцінити характеристики розподілених інформаційних систем і створювати системи з конкретними параметрами щодо пропускної здатності та часу відгуку. Для безперебійної роботи всієї розподіленої системи Дата-Центру необхідно збалансувати параметри пропускної здатності та часу відгуку між окремими компонентами системи, що забезпечить доступність інформації у центрі обробки даних. Такий підхід дозволяє наперед задати структуру інформаційної системи Дата-Центру з урахуванням попередньо визначених параметрів доступності інформації.

Використання часових профілів для аналізу продуктивності розподіленої інформаційної системи дозволяє оцінити параметри проектування цих систем перед їхнім розгортанням на різноманітних апаратних платформах. Результати дослідження вказують на те, що вихідні дані

для розрахунків представлені часовими показниками елементарних операцій, які прямо залежать від характеристик апаратних платформ і визначають параметри продуктивності системи в цілому. Точність визначення продуктивності системи визначається точністю вимірювання часу виконання окремих операцій.

Можливості застосування методики оцінки продуктивності елементів розподіленої інформаційної системи для забезпечення доступності інформації

З використанням часового профілю роботи системи можна отримати основні характеристики продуктивності, такі як пропускна здатність та час відгуку. Ці відомості дозволяють оцінити мінімальний час для виконання інформаційного обміну з урахуванням обмежень на час вирішення завдання. Крім того, встановлюється зв'язок між технічною продуктивністю виконавця, обсягом виконуваних дій програмою та часом обміну і обчислення. Застосування цієї методики є важливим на ранніх етапах розробки розподілених інформаційних систем для оптимізації проектування програмного забезпечення. Переваги дослідження полягають у простоті та доступності запропонованого підходу, що базується на побудові часових профілів. Для їх створення достатньо знати час виконання окремих операцій, після чого, за допомогою простих арифметичних операцій, можна розрахувати загальний час роботи системи. Застосування цих відношень є корисним на ранніх етапах розробки та для перевірки точності моделей обчислювальних систем.

Використання часових профілів для вимірювання продуктивності розподілених інформаційних систем пропонує новий підхід, що уникає недоліків класичних методів їхньої оцінки. Цей підхід не вимагає відображення прогнозних коефіцієнтів, які зазвичай необхідні для аналізу через калібрувальний метод. Ця модель також легко адаптується для використання з різними виконавцями і дозволяє урахувати різні склади їхніх завдань. Вона може пристосовуватися до зміни кількості послідовних виконавців і їхніх ієрархічних структур в межах системи. Цей підхід не потребує заздалегідь відомого графіка роботи та еталонних параметрів, але все ж вимагає знання тривалості елементарних операцій, які складають суть завдання. Порівнюючи його із моделями, що використовують ієрархічні кольорові мережі Петрі, можна виявити його переваги, оскільки він уникає необхідності складного розрахунку ймовірності втрати запитів у системі. Також, на відміну від технологій Cloud/Jungle/Fog Computing, цей метод не вимагає обширного збору статистики для післяфакторного аналізу роботи системи.

Але з розширенням кола завдань та ускладненням їхнього узгодження між виконавцями виникає ризик зростання обчислювальної складності у геометричній прогресії. Це може стати обмеженням для подальшого застосування цієї моделі. Виходом з такої ситуації може бути узагальнення або агрегація типових блоків виконавців і завдань для спрощення обчислень.

Висновки

1. Розробка часових профілів для виконавців відкриває можливість оцінки головних характеристик ефективності розподіленої інформаційної системи. Цей процес включає визначення послідовності дій для кожного виконавця і оцінку часу, необхідного для виконання кожної окремої дії. Часовий профіль формується на основі знання часу, необхідного для виконання атомарних операцій.

2. Як ключові показники продуктивності розподіленої інформаційної системи пропонується використовувати пропускну здатність послідовного виконавця та час відгуку системи. Ці показники дозволяють визначити мінімальний час обчислення, середній час виконання завдань та середній час очікування запиту. Така система показників дозволяє проводити аналіз як за алгоритмічними, так і за кількісними характеристиками функціонування системи.

3. Моделювання розподіленої інформаційної системи на основі ключових показників продуктивності підтверджує ефективність запропонованого підходу і дозволяє наочно оцінити

зв'язок між цими показниками. Наприклад, вивчення залежності пропускної здатності від потужності виконавця та кількості дій на одне завдання показує, що збільшення кількості дій або зниження потужності призводить до зменшення пропускної здатності виконавця. У свою чергу, збільшення пропускної здатності призводить до зменшення часу відгуку системи.

Для майбутніх досліджень у цій сфері можна розглянути широкий спектр теоретичних питань, пов'язаних із параметрами функціонування елементів розподілених інформаційних систем та їх впливом на ключові характеристики інформаційної безпеки, такі як конфіденційність, цілісність та доступність.

Перелік посилань

1. AL-Hazemi, Fawaz & Peng, Yuyang & Youn, Chan-Hyun & Lorincz, Josip & Li, Chao & Guo, Song & Boutaba, Raouf. (2018). Dynamic Allocation of Power Delivery Paths in Consolidated Data Centers based on Adaptive UPS Switching. *Computer Networks*. 144. 10.1016/j.comnet.2018.08.004.
2. Хошаба, О. М. Вивчення методу калібрування як важливої складової теорії продуктивності обчислювальних систем [Текст] / О. М. Хошаба // III Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології в освіті, науці і техніці": Тези допов. Черкаси, 2016. – С. 52–54.
3. Sukhoroslov, O. V. Comparative study of scheduling algorithms for distributed computing environments [Text] / O. V. Sukhoroslov, A. M. Nazarenko // *Program Systems: Theory and Applications*. – 2017. – Volume 8. – Issue 1. – P. 63–81.
4. Пелех, Н. В., Шпур О.М., Климаш М.М. Модель оцінки ефективності функціонування хмарного центру з високим ступенем віртуалізації та в умовах групового надходження запитів // *Проблеми телекомунікацій*. – 2020. – № 2(27). – С. 82–98.
5. Starovoitenko, O. V. (2020) Achieve Efficient Distributed Scheduling with Cloud Message Queuing for Multitasking and High-Performance Computing. *International Academy Journal Web of Scholar*. 8(50). doi: 10.31435/rsglobal_wos/30122020/7323
6. Савенко, О., Нічепорук, А., & Паюк, В. (2019). Оцінка ефективності та достовірності розподілених систем виявлення зловмисного програмного забезпечення в комп'ютерних системах локальних мереж. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, (36), 134-139. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2019-36-17>.
7. Kovalenko, T. N. Analysis of Productivity of Distributed Systems with Service Oriented Architecture under Conditions of Limited Link and Buffer Resources of Telecommunication Network [Text] / T. N. Kovalenko // *Electronic Scientific Specialized Edition Journal "Telecommunications Problems"*. – 2012. – № 1 (6). –P. 3–11.
8. Rauber, Th. *Parallel Programming for Multicore and Cluster Systems* [Text] / Th. Rauber, G. Runger // Springer, XIII. – 2013. – 516 p.
9. Kahanwal, B. Towards High Performance Computing (HPC) Through Parallel Programming Paradigms and Their Principles [Text] / B. Kahanwal // *International Journal of Programming Languages and Applications (IJPLA)*. – 2014. – Vol. 4. – No.1. – P. 45–55.
10. Hajibaba, M. A Review on Modern Distributed Computing Paradigms: Cloud Computing, Jungle Computing and Fog Computing [Text] / M. Hajibaba, S. Gorgin // *Journal of Computing and Information Technology*. – 2014. – CIT 22, 2. – P. 69–84.
11. Савченко, В. А. Визначення продуктивності мультиагентної системи підтримки прийняття рішень на основі побудови часового профілю [Текст] / В.А. Савченко // *Зб. наук. пр. Інституту проблем моделювання в енергетиці. Моделювання та інформаційні технології*. – К.: ІПМЕ, 2011. – № 59. – С.67–72.
12. Смілянський, Р. Л. Модель функціонування розподіленої обчислювальної системи з часом [Текст] / Р. Л. Смілянський // *Програмування*. – 2013. – No 5. – С. 22–34.
13. Smelianskii, R. L. Automated Control Systems Networks [Text] / R. L. Smelianskii // *Computer Networks*. – 2011. – Vol. 2. – 240 p.
14. Savchenko, V. Assessment of Performance of a Distributed Information System Based on Time Profile // V. Savchenko, O. Matsko, V. Vorobiova, Y. Kizyak, V. Duhanets // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. №6/2 (90). – С. 41-54.
15. Savchenko, V. Providing of Data Center Information Security on the Basis of Performance Balance / Vitalii Savchenko, Halyna Haidur, Taras Dzyuba, Vitalii Marchenko, Matsko Oleksandr, Ivan Havryliuk // *2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2021*. – Proceedings, 2021, pp. 121–125.

Надійшла: 23.10.2023

Рецензент: д.т.н., професор Савченко В.А.