

УДК 004.7

Г.А. Кучук¹, А.А. Коваленко², Н.В. Лукова-Чуйко³¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТОД МІНІМІЗАЦІЇ СЕРЕДНЬОЇ ЗАТРИМКИ ПАКЕТІВ У ВІРТУАЛЬНИХ З'ЄДНАННЯХ МЕРЕЖІ ПІДТРИМКИ ХМАРНОГО СЕРВІСУ

У статті розглянуті питання, що виникають при проектуванні технічного обладнання підтримки хмарного сервісу. Серед найбільш важливих характеристик базової мережі обрано середню затримку пакетів між виділеною парою, що використовує свій, тимчасово створений, віртуальний канал. Запропонована відповідна математична модель, яка описує функціонування базової обчислювальної мережі хмарного сервісу. Для її спрощення введено ряд припущень. У рамках розробленої моделі сформульована задача мінімізації середнього часу затримки при обмеженнях на сумарну вартість каналів. Для її розв'язання використано правило множників Лагранжа.

Ключові слова: хмарний сервіс, затримка пакетів, віртуальний канал.

Вступ

Сьогодні при розробці різноманітних сервісів все більша перевага віддається хмарним технологіям за рахунок таких переваг [1 – 3]:

- дешева техніка;
- зростання продуктивності комп'ютерів;
- зменшення витрат і підвищення ефективності ІТ-інфраструктури;
- мінімізація проблем з обслуговуванням;
- мінімізація витрат на покупку SoftWare;
- автоматичне оновлення програм;
- збільшення обчислювальних потужностей;
- необмежений обсяг збережених даних;
- сумісність з будь-якою операційною системою;
- сумісність форматів документів;
- спрощення спільної роботи для груп людей;
- постійний доступ до документів;
- доступність;
- захист від втрати даних.

Але при впровадженні хмарних технологій при розробці сервісів є і ряд мінуси.

- необхідно мати постійний доступ в Інтернет;
- необхідно мати швидкий і якісний Інтернет;
- хмарні програми можуть працювати повільно;
- є програми, котрі недоступні для віддаленого доступу;
- безпека даних може бути під загрозою;
- втрата даних в хмарі – це втрата назавжди.

Деякі із вищеперерахованих недоліків зменшують вплив на сервіс при підвищенні продуктивності HardWare [3]. Оскільки основою будь-якого сучасного хмари є технологія віртуалізації, то продуктивність хмари залежить від обчислювальних ресурсів [2]. Основними ресурсами, які необхідні при створенні

хмари, і які ми віртуалізуємо, це такі: ресурси центрального процесора, ресурси оперативної пам'яті, ресурси сховищ для розміщення даних і комунікаційні ресурси. Підхід до виділення ресурсів в традиційним стилі не дозволяє точно і адекватно дати оцінку ресурсів і правильно їх виділити під сервіси.

Для більшості мультимедійних послуг критичним є такі параметри передачі пакетів через мережу, як затримка пакета впродовж усього маршруту від вузла-адресата до вузла-одержувача, дисперсія цієї затримки (джитер), імовірність втрати пакетів. Сучасні комунікаційні технології “орієнтована на з'єднання”, тобто процеси, що запущено на двох робочих станціях мережі, забезпечуються даними через спеціально встановлений віртуальний канал, який створено спеціально для них та який ніким більше не використовується. В результаті проходить скорочення мережного трафіка у порівнянні з традиційними технологіями, в котрих всі робочі станції ділять загальне середовище передачі даних, створюючи надлишковий мережний трафік.

Зараз швидкими темпами розвиваються нові інформаційні та телекомунікаційні технології, які направлені на підвищення пропускної спроможності існуючих мереж передачі даних. Але, незважаючи на це, одним із можливих варіантів підвищення продуктивності комунікаційних ресурсів є зменшення середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу. Це завдання розглядалося у багатьох наукових працях [4 – 11], але без врахування особливостей хмарних сервісів.

Мета статті – розробка математичної моделі, яка описує функціонування базової обчислювальної мережі хмарного сервісу, у рамках якої розробити метод мінімізації середнього часу затримки при обмеженнях на сумарну вартість каналів.

Результати досліджень

При проектуванні технічного обладнання підтримки хмарного сервісу необхідно провести аналіз найбільш важливих характеристик базової мережі, таких як продуктивність мережі, середня затримка пакетів і середня затримка між виділеною парою, що використовує свій, тимчасово створений, віртуальний канал. Для побудови відповідної моделі, яка описує функціонування базової обчислювальної мережі (БОМ), що включає N каналів передачі даних між M вузлами мережі введемо ряд припущень. Припущення про незалежність часів обслуговування в різних каналах полягає в тому, що довжина пакету, який поступає в БОМ, розподілена зі щільністю ймовірності

$$f(x) = \ell e^{-\ell x}, \quad (1)$$

де $1/\ell$ – середня довжина пакету.

Якщо k – номер віртуального каналу (ВК) між вузлом – джерелом i_0 та вузлом – адресою j_0 ($k = \overline{1, K}$), то процес доставки до нього пакетів (назвемо їх пакетами класу k) будемо вважати пуасонівським з параметром $\lambda_k^{(B)}$, причому реальний маршрут пакету даного класу визначимо булевою матрицею

$$\|a_{ij}^{(k)}\|_{N \times N}, \quad (2)$$

де $a_{ij}^{(k)} = 1$ тоді і тільки тоді, коли маршрут (i, j) входить до віртуального каналу k .

Крім того, для спрощення моделі припустимо, що об'єми буферних накопичувачів необмежені, а підтвердження про успішну доставку пакету передається миттєво.

Процес обслуговування пакетів в середовищі БОМ визначимо матрицею

$$\|P_{k_1 k_2}\|_{K \times K}, \quad (3)$$

де $P_{k_1 k_2}$ – ймовірність того, що пакет k_1 – го класу після обслуговування ВК з номером k_1 поступить до ВК з номером k_2 .

З врахуванням зроблених вище припущень модель БОМ визначає розімкнену неоднорідну мережу масового обслуговування (МО), до якої надходить k класів пуасонівських потоків пакетів з інтенсивностями λ_k .

Під затримкою пакета даних у системі передачі і доведення даних розуміють відрізок часу, необхідний для пересування пакета даних від джерела до пункту призначення через систему передачі і доведення даних [13]. Надалі ми зосередимо увагу на затримці пакета в системі передачі і доведення даних для окремого шляху. Ця затримка є сумою затримок на кожному каналі зв'язку ($K3$) шляху, що

проходить пакет даних. Затримка пакета даних на каналі зв'язку у свою чергу складається з чотирьох компонентів:

– затримка пакета даних на обробку (комутацію) – це затримка між моментом, коли пакет даних був правильно прийнятий на початковому вузлі каналу зв'язку, і моментом, коли пакет був поставлений у чергу на передачу по каналу;

– затримка пакета даних у черзі – затримка між моментом, коли пакет був поставлений у чергу на передачу по каналу зв'язку, і моментом, коли він починає передаватися; протягом цього часу пакет чекає, поки будуть передані інші пакети даних з черги;

– затримка передачі пакета даних – затримка між моментами, коли передадуться перший і останній біти пакета даних;

– затримка поширення пакета даних – проміжок часу від моменту, коли останній біт пакета даних був переданий на початковому вузлі каналу, до моменту, коли він буде прийнятий у кінцевому вузлі цього каналу; ця затримка пропорційна фізичній відстані між початковим і кінцевим вузлами каналу зв'язку і звичайно досить мала.

Функція розподілу тривалості обслуговування пакетів k -го класу в n -му вузлі буде експоненціальною з параметром

$$\mu_{nk} = b_n \ell_k, \quad (4)$$

де b_n – пропускна спроможність n -го каналу, а $1/\ell_k$ – середня довжина пакету k -го класу.

Інтенсивність потоків класу k , що надходять до n -го каналу, задовольняє рівнянню балансу потоків неоднорідної мережі МО [14]

$$\lambda_{nk} = \lambda_k^{(B)} \cdot \delta_{nk} + \sum_{k'=1}^K \sum_{j=1}^N \lambda_{jk} \cdot a_{nj}^{(k)} \cdot P_{kk'}, \quad (5)$$

де δ_{nk} – булева функція, яка означає надходження пакета класу k до n -го каналу, а λ_{jk} – інтенсивність надходження пакетів класу k до каналу з умовним номером j .

Сумарний потік пакетів, що проходять через канал n , дорівнює

$$\lambda_n = \sum_{k=1}^K \lambda_{nk}, \quad (6)$$

а ззовні до всієї БОМ:

$$\lambda^{(B)} = \sum_{k=1}^K \lambda_k^{(B)}. \quad (7)$$

Завантаженість n -го каналу пакетами класу k (ψ_{nk}) та загальна завантаженість каналу n (ψ_n) розраховуються таким чином [12]:

$$\psi_{nk} = \frac{\lambda_{nk}}{I_k \cdot b_k}; \quad (8)$$

$$\Psi_n = \sum_{k=1}^K \Psi_{nk} . \quad (9)$$

Тоді середня кількість пакетів, котрі знаходяться в n-му каналі (R_n), та середня кількість пакетів, котрі знаходяться в БОМ (R), в стаціонарному режимі можуть бути розраховані за такими формулами [14]:

$$R_n = \frac{\Psi_n}{1 - \Psi_n} ; \quad (10)$$

$$R = \sum_{n=1}^N \frac{\Psi_n}{1 - \Psi_n} . \quad (11)$$

Згідно до теореми Літгла [13]

$$R = \lambda^{(B)} \cdot t^{(3)} , \quad (12)$$

де $t^{(3)}$ – затримка пакета в БОМ.

Тому середню затримку пакету можна розрахувати таким чином:

$$t^{(3)} = \frac{1}{\lambda^{(B)}} \cdot \sum_{n=1}^N \frac{\lambda_n}{\ell \cdot b_n - \lambda_n} . \quad (13)$$

Аналогічно розраховується середнє число пакетів класу k в каналі n:

$$R_{nk} = \frac{\Psi_{nk}}{1 - \Psi_n} , \quad (14)$$

а застосування теореми Літгла дозволяє визначити середню затримку пакетів цього класу в розглядаємому каналі:

$$t_{nk}^{(3)} = \frac{1}{\ell \cdot b_n (1 - \Psi_n)} , \quad (15)$$

тобто $t_{nk}^{(3)}$ залежить тільки від загальної завантаженості каналу та лишається постійною величиною для пакетів різних класів, що проходять через цей канал.

Тоді, якщо β_k – віртуальний маршрут пакета, то затримка пакету на маршруті дорівнює

$$t_k^{(3)} = \sum_{n \in \beta_k} \frac{1}{\ell \cdot b_n \cdot (1 - \Psi_n)} . \quad (16)$$

Легко перевірити, що вирази (13) та (16) несуперечні, тобто

$$\sum_{k=1}^N t_k^{(3)} = t^{(3)} . \quad (17)$$

Аналітичні вирази (13) та (16), що оцінюють часові затримки пакетів в БОМ, дозволяють вирішити задачу оптимізації пропускної спроможності мережі підтримки хмарного сервісу з використанням динамічної віртуальної маршрутизації, при котрій вибір маршруту відбувається адаптивно у відповідності до поточних змін потоку та стану мережі.

При заданій топологічній структурі мережі і відомих потоках $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ припустимо, що вартість каналу – лінійна функція від його пропускної спроможності, тобто

$$C_n = \alpha_n b_n . \quad (18)$$

Тоді задача вибору пропускних спроможностей зводиться до знаходження вектора

$$\vec{b} = (b_1, b_2, \dots, b_N) , \quad (19)$$

мінімізуючого середній час затримки при обмеженнях на сумарну вартість каналів:

$$T_3 \rightarrow \min , \quad (20)$$

якщо
$$\sum_{n=1}^N \alpha_n b_n = D_\Sigma . \quad (21)$$

Для вирішення задачі (20) – (21) складемо функцію Лагранжа

$$F = t_3 + \beta \sum_{n=1}^N \alpha_n b_n - D_\Sigma . \quad (22)$$

Диференціюючи F_n по b_n одержимо систему, що складається із N рівнянь:

$$\frac{\partial F}{\partial b_n} = \frac{\lambda_n}{\lambda^{(B)}} \cdot \frac{\ell}{(\ell b_n - \lambda_n)^2} - \beta \alpha_n = 0 , \quad n = \overline{1, N} , \quad (23)$$

з яких знаходимо b_n такому вигляді:

$$b_n = \frac{\lambda_n}{\ell} + \sqrt{\frac{\lambda_n}{\alpha_n} / \sqrt{\beta \cdot \ell \cdot \alpha^{(B)}}} , \quad n = \overline{1, N} . \quad (24)$$

Для знаходження параметра β в (20) підставляємо значення b_n з (21). Після перетворень отримаємо $\vec{b}^{(opt)}$ з такими координатами:

$$b_n^{(opt)} = \frac{\lambda_n}{\ell} + \frac{\left(D_\Sigma - \sum_{i=1}^N (\alpha_i \lambda_i / \ell) \right) \cdot \sqrt{\lambda_n \alpha_n}}{\sqrt{\ell \lambda^{(B)}} \cdot \sum_{j=1}^M \sqrt{\lambda_j \alpha_j}} , \quad n = \overline{1, N} . \quad (25)$$

Мінімальну середню затримку пакетів в мережі розрахуємо підстановкою (24) до (16):

$$b_n^{(opt)} = \frac{1}{\lambda^{(B)} \cdot \ell \cdot \left(D_\Sigma - \sum_{i=1}^N \lambda_i \alpha_i / \ell \right)} \cdot \left(\sum_{n=1}^M \sqrt{\lambda_n \alpha_n} \right)^2 . \quad (26)$$

Одержані вирази (24) і (26) дозволяють провести аналіз відповідних характеристик БОМ підтримки хмарного сервісу і можуть бути використані як при синтезі топологічної структури мережі, так і при проектуванні її поширень.

Висновки

Авторами розглянуті питання, що виникають при проектуванні технічного обладнання підтримки хмарного сервісу. Серед найбільш важливих характеристик базової мережі обрано середню затримку пакетів між виділеною парою, що використовує свій, тимчасово створений, віртуальний канал. Запропонована відповідна математична модель, яка описує функціонування базової обчислювальної мережі хмарного сервісу. Для її спрощення введено ряд припущень.

У рамках розробленої моделі сформульована задача мінімізації середнього часу затримки при обмеженнях на сумарну вартість каналів. Для її розв'язання використано правило множників Лагранжа. Вирази, що отримані в результаті розв'язання оптимізаційної задачі, дозволяють провести аналіз відповідних характеристик базової мережі підтримки хмарного сервісу і можуть бути використані як при синтезі топологічної структури мережі, так і при проектуванні її поширень.

Напрямок подальших досліджень – поступове зняття накладених при розробці математичної моделі обмежень.

Список літератури

1. Литвинова С.Г. Методика проектування та використання хмаро орієнтованого навчального середовища загальноосвітнього навчального закладу / Світлана Григорівна Литвинова. – К.: Компринт, 2015. – 280 с. ISBN 978-617-7202-98-0.
2. Риз Дж. Облачные вычисления / Риз Дж. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 288 с.
3. Abrams N.M. (2012). Combining Cloud Networks and Course Management / N.M. Abrams // Systems for Enhanced Analysis in Teaching Laboratories. In Journal of Chemical Education, Vol. 89, No. 4, P. 482-486.
4. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assess-

ment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010. – Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.

5. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 4-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2012. – 943 с.

6. Кучук Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 3. – С. 154-158.

7. Рубан І.В. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / І.В. Рубан, Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації. – 2013. – Вип. 7. – С. 106-112.

8. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов святой вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – X.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.

9. Кучук Г.А. Управление трафиком мультисервисной розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – Вип. 2. – С. 18-27.

10. Стеклов В.К. Телекомунікаційні мережі / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – К.: Техніка, 2001. 392 с.

11. Кучук Г. А. Методика оцінки якості функціонування системи передачі і доведення даних до користувачів / Г. А. Кучук, А. А. Пашинев // Системи обробки інформації. – 2006. – № 1. – С. 94-98.

12. Whitt W. The Queuing Network Analyzes / W. Whitt // Bell System Tech. J. – 1983. – Vol. 62, № 9. – P. 2779 – 2815.

13. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. – М.: Мир, 1979. – 600 с.

14. Кучук Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення / Г.А. Кучук. – X.: ХУ ПС, 2013. – 254 с.

Надійшла до редколегії 22.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ СРЕДНЕЙ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТОВ В ВИРТУАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ СЕТИ ПОДДЕРЖКИ ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА

Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко

В статье рассмотрены вопросы, возникающие при проектировании технического оборудования поддержки облачного сервиса. Среди наиболее важных характеристик базовой сети выбрана средняя задержка пакетов между выделенной парой, которая использует свой, временно созданный, виртуальный канал. Предложенная соответствующая математическая модель, описывающая функционирование базовой вычислительной сети облачного сервиса. Для ее упрощения введен ряд предположений. В рамках разработанной модели сформулирована задача минимизации среднего времени задержки при ограничениях на суммарную стоимость каналов. Для ее решения использовано правило множителей Лагранжа.

Ключевые слова: облачный сервис, задержка пакетов, виртуальный канал.

METHOD TO MINIMIZE THE AVERAGE DELAY OF PACKETS INTO VIRTUAL CONNECTION SUPPORT NETWORK CLOUD SERVICES

H.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, N.V. Lukova-Chuyko

The questions that arise in the design of technical equipment to support cloud service. Among the most important characteristics of selected core network average packet delay between the selected pair using a temporarily created virtual channel. Nominated by the mathematical model that describes the basic operation of the computer network cloud service. For simplification introduced a number of assumptions. As part of the model The problem of minimizing the average delay time with restrictions on the total cost channels. For its solution generally used Lagrange multipliers.

Keywords: cloud services, packet delay, virtual channel.