

МАРШРУТИЗАЦІЯ ПАКЕТІВ З ВРАХУВАННЯМ ПРОПУСКНИХ ЗДАТНОСТЕЙ КАНАЛІВ ТА КІЛЬКОСТІ ПРОМІЖНИХ ВУЗЛІВ

ã Обельовська К., Роман В., Ліскевич О., 2014

Запропоновано алгоритм маршрутизації для комп’ютерних мереж, що враховує пропускні здатності каналів та кількість проміжних вузлів.

Ключові слова: комп’ютерні мережі, маршрутні таблиці, пропускна здатність каналу, кількість проміжних переходів.

Modified routing algorithm for computer networks based on channel throughput and number hops is proposed.

Key words: computer network, routing table, bandwidth, hop.

Вступ

Ефективність функціонування компютерних мереж залежать від багатьох чинників, серед яких важливе місце займає маршрутизація. В сучасних комп’ютерних мережах одним з основних протоколів, що використовуються для маршрутизації в межах автономної системи, є протокол OSPF (Open Shortest Path First), описаний в стандарті RFC 2328.

Постановка задачі

Протокол OSPF для обчислення найкоротшого шляху транспортування пакетів використовує алгоритм Дейкстри. Алгоритм розглядає кожен маршрутизатор як вузол дерева і визначає найкоротший шлях від нього до кожного вузла призначення на основі сукупної вартості доступу до нього. Як вартість шляху (метрики) протокол OSPF за замовчуванням використовує метрику, що ґрунтується на пропускній здатності каналів зв’язку. Що вища пропускна здатність каналу, то нижча вартість шляху, а отже, пакет буде відправлений по шляху з максимальною пропускною здатністю [1, 2].

На основі дерева найкоротших шляхів, знайденого за алгоритмом Дейкстри, будуються маршрутні таблиці маршрутизаторів.

Вхідними даними для алгоритму Дейкстри є зважений граф, що відповідає топології мережі, ваги ребер якого враховують пропускні здатності каналів мережі. Назвемо таку вагу – метрика 1 (M1). Недоліком вищеописаного підходу є те, що при знаходженні шляху транспортування пакета враховується тільки один параметр мережі, за замовчуванням – це пропускна здатність каналів. Проте цілком можливо, що для забезпечення інших критеріїв цей шлях не є тільки не оптимальним але навіть задовільним. Існує ряд робіт, присвячених вдосконаленню маршрутизації пакетів, прикладами яких можуть бути роботи [3 – 5]. Нами пропонується при формуванні маршрутних таблиць додатково до метрики M1, що ґрунтується на пропускній здатності каналів, враховувати кількість проміжних вузлів (маршрутизаторів) на шляху до вузла призначення. Назвемо цей параметр – метрика 2 (M2). Кожен маршрутизатор, через який транспортується пакет, вносить затримку, що збільшує загальний час транспортування пакета. Тому кількість проміжних маршрутизаторів на шляху проходження пакета для багатьох прикладних задач є одним з важливих критеріїв оптимізації. Інколи, наприклад, при передаванні мови, буває доцільніше відправляти пакети по шляху, пропускна здатність якого не є високою, проте містить малу кількість проміжних вузлів.

3. Побудова маршрутних таблиць за комбінованою метрикою, що ґрунтується на пропускній здатності шляху та кількості транзитних вузлів

Вхідними даними для побудови маршрутних таблиць з врахуванням пропускних здатностей каналів є топологія мережі та пропускні здатності її каналів. Отримане за алгоритмом Дейкстри дерево шляхів є оптимізовано за критерієм максимальної пропускної здатності сукупного шляху.

Для побудови маршрутних таблиць маршрутизаторів з врахуванням пропускних здатностей каналів, а також кількості проміжних вузлів додаткових вхідних даних не потрібно. Щоб мінімізувати кількість проміжних вузлів на шляхах, достатньо як вхідні дані для алгоритму Дейкстри прийняти, що вага всіх ребер графу, що відповідає топології мережі, дорівнює одиниці. Критерієм оптимізації в цьому випадку буде кількість переходів (хопів) на шляху від вузла джерела до вузла призначення.

Записи маршрутної таблиці пропонується формувати на основі аналізу шляхів, знайдених за алгоритмом Дейкстри як для метрики M1, так і для метрики M2.

Проілюструємо вищеописаний підхід на прикладі мережі, показаної на рис. 1.

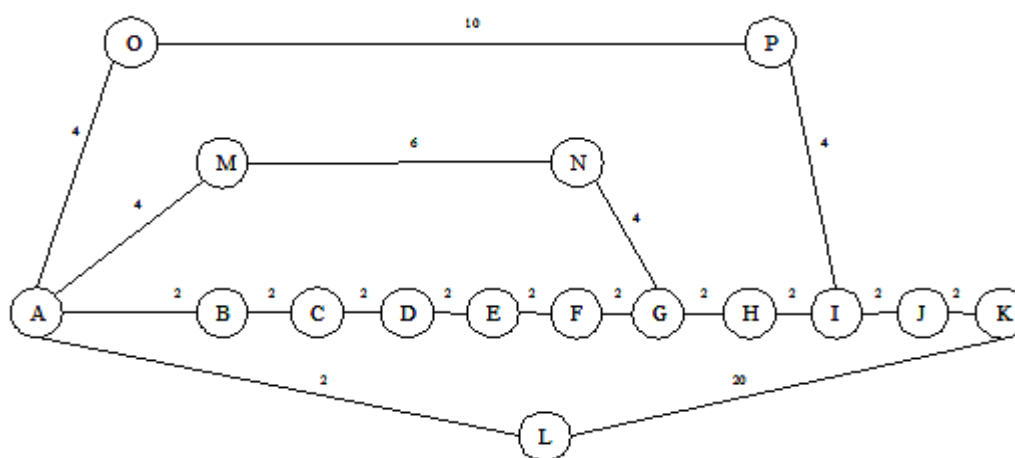


Рис. 1. Топологія мережі, ваги каналів якої враховують пропускні здатності каналів

За алгоритмом Дейкстри для наведеної мережі сформуємо для вузла А таблицю шляхів (рис. 2) згідно з метрикою 1, що враховує пропускні здатності каналів:

Вершини	Шлях	L1	N1
A	A	0	0
B	AB	2	1
C	ABC	4	2
D	ABCD	6	3
E	ABCDE	8	4
F	ABCDEF	10	5
G	ABCDEFG	12	6
H	ABCDEFGH	14	7
I	ABCDEFGHI	16	8
J	ABCDEFGHIJ	18	9
K	ABCDEFGHIJK	20	10
L	AL	2	1
M	AM	4	1
N	AMN	10	2
O	AO	4	1
P	AOP	14	2

Рис. 2. Таблиця шляхів від вузла А до всіх інших вузлів, знайдена за метрикою 1

У таблиці шляхів рис. 2: *L1* – критерій оптимізації (вага сукупного шляху, отриманого за метрикою 1, що ґрунтується на пропускній здатності каналів); *N1* – кількість переходів (хопів) на шляху до віддаленого вузла.

Сформуємо для мережі, наведеної на рис. 1, таблицю шляхів від вузла А згідно з метрикою 2, в якій повинна бути мінімізована кількість хоів на шляху між взаємодіючими вузлами. Оскільки

оптимізація буде здійснюватись за критерієм мінімальної кількості проміжних вузлів (метрика 2), то ваги каналів, пов'язані з пропускними здатностями каналів, у цьому випадку не беруть участі в роботі алгоритму Дейкстри. Вага кожного каналу приймається рівною одиниці. В результаті отримаємо таблицю шляхів (рис. 3):

Вершини	Шлях	L2	N2
A	A	0	0
B	AB	2	1
C	ABC	4	2
D	ABCD	6	3
E	ABCDE	8	4
F	AMNGF	16	4
G	AMNG	14	3
H	AMNGH	16	4
I	AOP	18	3
J	ALKJ	24	3
K	ALK	22	2
L	AL	2	1
M	AM	4	1
N	AMN	10	2
O	AO	4	1
P	AOP	14	2

Рис. 3. Таблиця шляхів, знайдена за метрикою 2 від вузла А до всіх інших вузлів

У таблиці шляхів (рис. 3) є такі позначення: N2 – критерій оптимізації (метрика 2, що визначає кількість проміжних вузлів на шляху між взаємодіючими вузлами); L2 – вага сукупного шляху, що є сумою ваг окремих шляхів, які ґрунтуються на пропускних здатностях каналів мережі.

Як видно з аналізу рис. 2 та 3, таблиці шляхів, отримані за різними критеріями, різні. Відповідно, побудовані на їх основі маршрутні таблиці маршрутизаторів будуть також різними.

Як приклад проаналізуємо шляхи від вузла А до вузла К, отримані за двома метриками.

Згідно з алгоритмом Дейкстри за метрикою 1 отримано такий шлях: А, В, С, D, E, F, G, H, I, J, К, що має мінімально можливу для даної мережі вагу сукупного шляху, що дорівнює 20 та проходить через 9 проміжних вузлів.

Для ілюстрації правил формування маршрутних таблиць присвоїмо вузлам мережі (рис. 1) такі IP-адреси:

Таблиця 1

Відповідності IP-адрес деяким інтерфейсам вузлів мережі

A-O	10.0.0.1	O-A	10.0.0.2	K-J	50.0.0.2	G-F	80.0.0.3
A-M	20.0.0.1	M-A	20.0.0.2	C-B	60.0.0.2	I-P	90.0.0.2
A-B	30.0.0.1	B-A	30.0.0.2	F-E	70.0.0.2	I-H	100.0.0.2
A-L	40.0.0.1	L-A	40.0.0.2	G-N	80.0.0.2		

У маршрутній таблиці вузла А, що використовуватиме дерево шляхів, знайдене за метрикою 1, для наведеного прикладу (шляху від вузла А до вузла К) буде введено запис (табл. 2):

Таблиця 2

Фрагмент маршрутної таблиці вузла А, побудованої за метрикою 1

Destination node	Gateway	Interface	Metrica
50.0.0.0	30.0.0.2	30.0.0.1	20

У цій таблиці: Destination node – IP адреса вузла призначення; Gateway – IP адреса наступного вузла; Interface – IP адреса порту вузла А, на який буде відправлено пакет; Metrica – вага шляху від поточного вузла до вузла призначення, знайденого за критерієм максимізації пропускної здатності сукупного шляху.

Згідно з алгоритмом Дейкстри за метрикою 2 отримано цілком інший шлях від вузла А до вузла К. Це шлях А, L, К, що має всього 1 проміжний вузол на шляху та вагу сукупного шляху, що дорівнює 22.

У маршрутній таблиці вузла А, що використовуватиме дерево шляхів, знайдене за метрикою 2, для наведеного прикладу буде введено інший запис:

Таблиця 3

Фрагмент маршрутної таблиці вузла А, побудованої за метрикою 2

Destination node	Gateway	Interface	Metrica
50.0.0.0	40.0.0.2	40.0.0.1	22

Наведений приклад ілюструє значну відмінність шляхів між вузлами А та К, отриманих за різними метриками, параметри яких наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Параметри шляхів між вузлами А та К за двома метриками

	Метрика	Кінцеві вузли		Вага шляху, що ґрунтується на пропускній здатності	Кількість проміжних вузлів
1	Метрика 1	А	К	20	9
2	Метрика 2	А	К	22	1

З наведених результатів видно, що шлях, оптимізований за критерієм мінімізації кількості проміжних вузлів, має пропускну здатність, лише на 10 % меншу від максимально можливої. При цьому кількість проміжних вузлів шляху зменшилась аж у 9 разів, замість дев'яти проміжних маршрутизаторів один. Очевидно, що це значно зменшить час затримки, зумовлений обробкою пакетів в маршрутизаторах, а також зменшить шанс потрапляння пакетів у перевантажені маршрутизатори. Платою за це є зменшення пропускну здатності на 10 відсотків. Тому, якщо для прикладного застосування така пропускну здатність є достатньою, доцільно в результуючу маршрутну таблицю для шляху між вузлами А та К включити відповідний запис з табл. 3.

У загальному випадку для формування записів кінцевої маршрутної таблиці, що будується за комбінованою метрикою, необхідно сформулювати правила їх вибору з таблиць, отриманих за метриками 1 та 2.

Рішення про вибір шляху за комбінованою метрикою приймається тільки за наявності альтернативних шляхів, тобто у випадку, коли шляхи до одного і того самого кінцевого вузла, знайдені за метриками 1 та 2, відрізняються між собою. Аналізуємо ці шляхи та обираємо той, що є ефективніший з погляду одночасного врахування двох параметрів. Цей шлях записуємо до кінцевої таблиці шляхів.

Для аналізу ефективності шляху введемо такі параметри:

- $K1$ – відношення ваг шляхів знайдених за метриками 2 та 1;
- $K2$ – відношення кількості проміжних вузлів на шляхах, знайдених за метриками 1 та 2.

Для $L1 > 0$ та $N2 > 1$ відношення $K1$ та $K2$ можна записати:

$$K1 = L2/L1, \tag{1}$$

$$K2 = (N1-1)/(N2-1). \tag{2}$$

Для вибору результуючого маршруту потрібно визначити значення $K1_{max}$ та $K2_{min}$. У кожній конкретній ситуації значення цих коефіцієнтів можна вибрати різне. При побудові результуючої маршрутної таблиці метрику 1 можна використовувати за замовчуванням, а коли виконуються одночасно умови (3) та (4):

$$K1 \leq K1_{max}, \tag{3}$$

$$K2 \geq K2_{min}, \tag{4}$$

відповідні записи результуючої таблиці замінюються на записи, знайдені за метрикою 2.

Для прикладу приймемо $K1_{max} = 1,2$ та $K2_{min} = 1,5$. Оцінивши за такими критеріями шляхи з двох таблиць шляхів (рис. 2 та рис. 3), отриманих за різними метриками, сформуємо кінцеву таблицю шляхів (рис. 4) вузла А:

Вершини	Шлях	L3	N3
A	A	0	0
B	AB	2	1
C	ABC	4	2
D	ABCD	6	3
E	ABCDE	8	4
F	ABCDEF	10	5
G	AMNG	14	3
H	AMNGH	16	4
I	AOP	18	3
J	ABCDEFGHIJ	18	9
K	ALK	22	2
L	AL	2	1
M	AM	4	1
N	AMN	10	2
O	AO	4	1
P	AOP	14	2

Рис. 4. Таблиця шляхів вузла А для комбінованої метрики

У таблиці шляхів (рис. 4) є такі позначення: N3 – кількість хопів на шляху між взаємодіючими вузлами; L3 – вага сукупного шляху, що є сумою ваг окремих шляхів, які основані на пропускних здатностях каналів мережі.

На основі отриманої таблиці шляхів можна сформувати маршрутну таблицю для вузла А. Фрагмент маршрутної таблиці, побудованої за комбінованою метрикою, показано на рис. 5:

Destination node	Gateway	Interface	Metrica L3	Metrica N3
60.0.0.0	30.0.0.2	30.0.0.1	4	2
80.0.0.0	20.0.0.2	20.0.0.1	14	3
100.0.0.0	10.0.0.2	10.0.0.1	18	3
50.0.0.0	40.0.0.2	40.0.0.1	22	2

Рис. 5. Фрагмент маршрутної таблиці вузла А для комбінованої метрики

Висновок

Запропоновано модифікований алгоритм побудови маршрутних таблиць, що формує шляхи передавання пакетів з врахуванням двох характеристик мережі: пропускної здатності каналів та кількості проміжних вузлів на шляхах. Вибір шляхів з меншою кількістю проміжних вузлів за достатньої пропускної здатності зменшує затримки пакетів у мережі.

Запропонований підхід можна розширити, додаючи нові метрики, що характеризують інші параметри мережі. При внесенні нових метрик необхідно вносити додаткові дані про мережу і додаткові коефіцієнти оцінювання ефективності шляхів, отриманих за різними метриками.

1. *OSPF Design Guide*. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/7039-1.html#6>. 2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд.* – СПб.: Питер, 2012. – 944 с. 3. Кузнецов Н.А., Фетисов В.Н. *Алгоритм Дейкстры с улучшенной робастностью для управления маршрутизацией в IP-сетях. Автоматика и телемеханика.* – 2008. – № 2. – С. 80–85. 4. Чуба І. В. *Метод маршрутизації у гетерогенних комп'ютерних мережах на основі аналізу ієрархій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.05 / Чуба Ірина Вікторівна; Національний авіаційний університет.* – К.: [б. в.], 2008. – 20 с. 5. Обельовська К., Русаков А. *Модифікований алгоритм маршрутизації для зменшення перевантажень ресурсів комп'ютерних мереж. Вісник НУ "Львівська політехніка" N 663 "Комп'ютерні науки та інформаційні технології".* – Львів, 2010. – С. 223 – 228.