

ОПТИМІЗАЦІЯ ТОПОЛОГІЇ ЯДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ OSPF НА ОСНОВІ НЕЯВНОГО БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ

Анотація. Запропоновано модифікацію неявного коефіцієнту балансування навантаження $ILBI$, визначаючи його в залежності від відносної інтенсивності інформаційного трафіку в каналах ядра OSPF-мережі. Досліджено ядра з різною кількістю ABR маршрутизаторів. На цій основі проведено модифікацію топології ядра, що дозволило реалізувати більш рівномірний розподіл навантаження по каналам при значно більшій середній швидкості переміщення пакетів в ядрі.

Ключові слова: ядро, OSPF - мережа, неявне балансування навантаження.

Вступ. Комп'ютерні мережі, організовані з використанням протоколу маршрутизації внутрішнього шлюзу OSPF, у теперішній час займають провідне місце в Internet. В специфікації OSPF рекомендується оформляти окремі частини автономної системи (AS) у вигляді областей, в яких усі маршрутизатори містять однакові бази топологічної інформації і виконують однакові обчислення, передбачені даним протоколом [1]. Це дозволяє суттєво підвищити масштабованість мереж.

Область 0 автономної системи називається її опорною областю і може розглядатися як ядро AS. З опорною областю повинні з'єднуватися усі інші області AS. При цьому важливим для маршрутизації інформаційного трафіка в ядрі AS є організація інтерфейсів межових маршрутизаторів ядра (ABR), кожен з яких розташовується в місці з'єднання однієї області з іншою і має інтерфейси, що відносяться до різних областей. Внаслідок високої інтенсивності трафіка в нульовій області вельми актуальною стає задача балансування навантаження по її маршрутам.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження, з використанням неявного коефіцієнту балансування навантаження, топології ядра, орієнтованої, в першу чергу, на реалізацію тунелювання між

областями AS, і оптимізація топології ядра для розширення його універсальності і підвищення ступеня балансування навантаження.

Основна частина. Неявний коефіцієнт балансування навантаження (ILBI) λ визначається відношенням кількості каналів зв'язку, що використовуються при передачі інформаційного трафіку, до загальної кількості існуючих каналів [2]. Неявне балансування навантаження (ILB) показує, яким чином маршрути з різною метрикою розподіляють трафік мережі в процесі роботи, реально використовуючи усі істочники та пункти призначення. Балансування навантаження має ряд переваг, зокрема щодо підвищення надійності передачі інформації [3], більш швидкого відновлення працездатності [4], витримки щодо значних коливань інтенсивності трафіку [5].

Розглянемо топологію ядра (нульової області), в якому граничні маршрутизатори ABR A_1 та A_2 відповідних областей з'єднані магістральними маршрутами з полосою 10 Gbps. Те ж відноситься до маршрутизаторів B_1 та B_2 , C_1 та C_2 і так далі. Ці магістральні маршрути використовують, як мінімум, по одному проміжному маршрутизатору, відповідно a, b, c Тобто передача між A_1 і A_2 здійснюється через a, між B_1 і B_2 – через b, між C_1 і C_2 – через c і так далі. Для об'єднання усіх маршрутизаторів ядра в єдину мережу і здійснення резервування усіх магістральних каналів введені канали з менш широкою полосою 1 Gbps (згідно технології Ethernet), як показано на рис.1 для кількості ABR $N=10$.

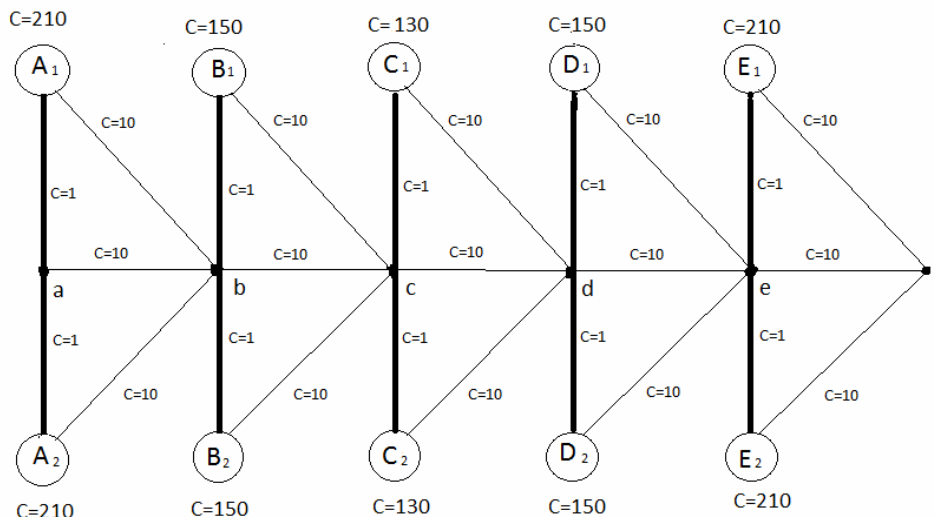


Рисунок 1 - Початкова топологія ядра автономної системи при $N=10$

На рис. 1 біля кожного ребра графу (каналу зв'язку) показано його вартість. Топології такого типу орієнтовані, в першу чергу, на реалізацію тунелювання між областями автономної системи, підключеними до одноіменних ABR маршрутизаторів A_1 - A_2 , B_1 - B_2 і так далі. Проте доцільним є, при збереженні цієї орієнтації, реалізувати більш універсальну мережу, в якій високошвидкісний обмін інформацією здійснюється між усіма маршрутизаторами ABR ядра автономної системи.

При визначенні оптимального маршруту з найменшою метрикою (вартістю) протокол OSPF використовує Dijkstra Shortest Path Algorithm (DSPA) [1]. Моделюючи мережу у якості графу, що налічує n вершин (вузлів) та m дуг (ребер), DSPA стартує від кореневого вузла і розширює покриваюче дерево через граф, доки усі вершини не будуть зв'язані з коренем найбільш короткими можливими шляхами. Найбільш коротким вважається шлях, що має найменшу вартість. В практичному використанні DSPA вартість звичайно розраховується інверсно до базисної ширини каналу, а вартість усього маршруту визначається, як сума вартостей його складових каналів (чи з'єднань).

Розглянемо процес обміну інформацією між усіма маршрутизаторами ABR ядра (рис.1). Будемо вважати, що кожний ABR відправив по одному інформаційному пакету усім іншим. Розрахуємо вартість маршруту для кожного інформаційного пакету і кількість пакетів, що пройшли по кожному каналу. Маршрути для пакетів визначимо на основі алгоритму DSPA. Так, наприклад, маршрут від E_2 до A_1 має вартість 41. На рис.1 біля кожного ABR наведено сумарну вартість маршрутів до нього від усіх маршрутизаторів ABR ядра, наприклад $C=130$ для маршрутизатора C_1 .

Будем змінювати кількість маршрутизаторів ABR в ядрі від 6 до 14. Відповідні значення сумарної вартості маршрутів для таких ядер наведені у верхньому рядку таблиці 1.

Таблиця 1

Сумарна вартість маршрутів для усього ядра

Сума вартостей для усіх маршрутизаторів ABR ядра	N=6	N=8	N=10	N=12	N=14
Початкова топологія	356	864	1700	2944	4676
Модифікована топологія	76	152	294	472	716

На рис. 2 показані графіки зміни сумарної вартості маршрутів для кожного ABR при переміщенні у напрямку $A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \dots$ (чи $A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow C_2 \dots$); при цьому цифра 1 на осі абсцис рис.2 відповідає A_1 , цифра 2 – B_1 , цифра 3 – C_1 і так далі.

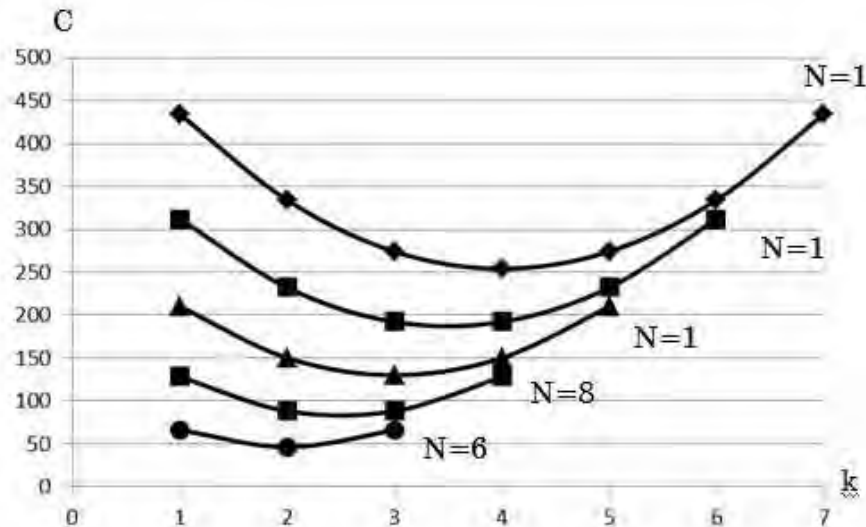


Рисунок 2 - Зміни сумарної вартості маршрутів для кожного маршрутизатора ABR початкової топології ядра при пересуванні у напрямку $A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \dots$ для ядер з різним числом ABR

Визначимо ІЛВІ λ_0 для ядер з різними N . Наприклад, для ядра автономної системи, що показано на рис.1, загальна кількість каналів дорівнює 22. З'єднання E_1f , ef та E_2f не враховуємо, вони показані для ілюстрації того, що мережа може поширюватись вправо. Кількість каналів, по яких проходять пакети, дорівнює 21 (по каналу ab пакети не проходять). Тому $\lambda_0 = 21/22 = 0,95$.

Ми пропонуємо модифікувати коефіцієнт ІЛВІ λ , визначаючи його в залежності від відносної інтенсивності трафіка в каналах ядра. Повернемося до топології ядра, представленої на рис.1. Аналіз кількості пакетів, що пройшли по його каналах, при умові, що кожний маршрутизатор ABR надіслав по одному інформаційному пакету усім іншим, показав, що максимальна кількість пакетів пройшла по каналу cd . Ця кількість дорівнює $I_{\max} = 32$. Визначим канали, по яким проходить менше 10%, 20% і 30%, від максимальної кількості, пакетів. Для розглядаємої на рис.1 топології таких каналів налічується відповідно 3, 7 і 13. Відповідні значення ІЛВІ ми визначимо як $\lambda_{0,1} = (22-3)/22 = 0,86$, $\lambda_{0,2} = (22-7)/22 = 0,68$, $\lambda_{0,3} = (22-13)/22 = 0,59$.

Аналогічним чином відповідні значення λ розраховані для мереж з $N=6, 8, 10, 12$ і 14 [6]. Аналізуючи одержані значення, можна сказати, що при збільшенні N вони монотонно зменшуються. Відповідні діапазони складають: $\lambda_{0,1}(N=6)=0,92 - \lambda_{0,1}(N=14)=0,78$; $\lambda_{0,2}(N=6)=0,92 - \lambda_{0,2}(N=14)=0,53$; $\lambda_{0,3}(N=6)=0,75 - \lambda_{0,3}(N=14)=0,34$. Це указує на значну нерівномірність розподілу інформаційного трафіку в ядрі автономної системи. Якщо враховувати тільки ті канали, по яким проходить інформаційний трафік, то його середня інтенсивність при збільшенні N від 6 до 14 збільшилася від 6,18 до 20,77, при цьому коефіцієнт розсіювання збільшився від 47% при $N=6$ до 87% при $N=14$.

Модифікація ядра мережі була направлена на зменшення нерівномірності розподілу інформаційного трафіка та зменшення вартості доставки пакетів, тобто фактично зниження їх затримки. Модифікацію здійснено з використанням коефіцієнту $\lambda_{0,3}$ наступним чином: широкосмугові канали (10Gbps) з інтенсивністю трафіка менше 30% від максимальної замінено каналами з менш широкою полосою (1Gbps), а такі канали з інтенсивністю трафіка більшою ніж 30% замінено широкосмуговими. Така топологія при $N=10$ показана на рис.3.

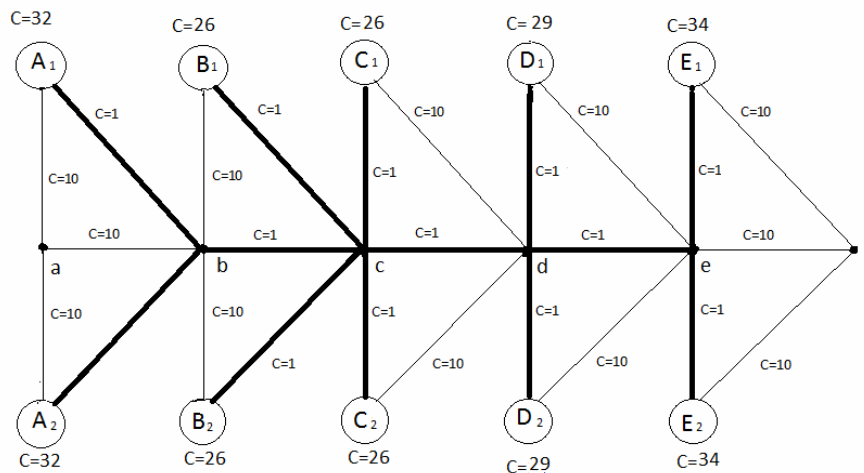


Рисунок 3 - Модифікована топологія ядра автономної системи при $N=10$

Значення сумарної вартості маршрутів для усього ядра, наведені для різних N у другому рядку табл.1. Аналогічні рис. 2 графіки, які характеризують топології модифікованих ядер, показані на рис. 4. Видно, що досягнуто значне зменшення вартості доставки па-

кетів, тобто значно підвищена швидкість їх доставки. При цьому відносне зменшення вартості, як виходить з табл.1 стає більш вагомим при збільшенні N (від 4,68 при N=6 до до 6,53 при N=14). Статистичні результати роботи модифікованих ядер автономних систем комп'ютерних мереж OSPF зібрані в табл.2.

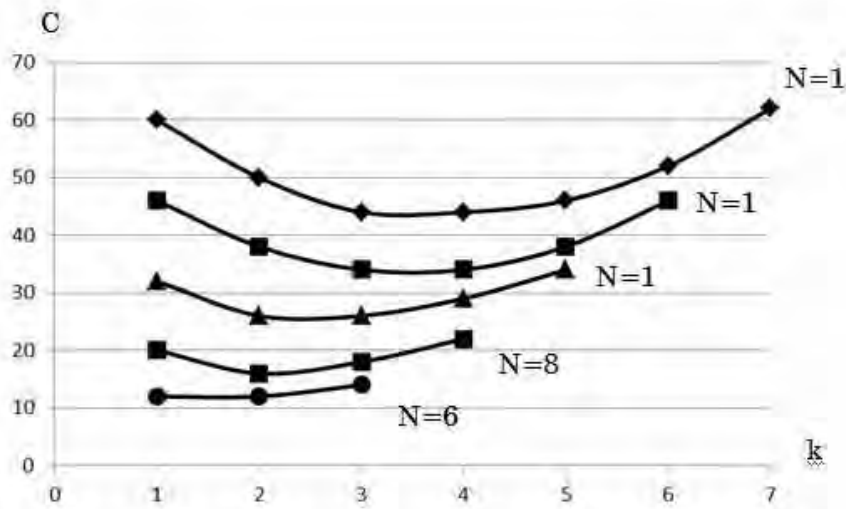


Рисунок 4 - Зміни сумарної вартості маршрутів для кожного маршрутизатора ABR модифікованої топології ядра при пересуванні у напрямку $A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_1 \dots$ для ядер з різним числом ABR

Таблиця 2

Статистичні характеристики роботи модифікованих ядер

N	γ_{cp}	σ	$\alpha, \%$	$\xi, \%$
6	10,86	2,27	21	17
8	16,0	4,22	26	25
10	22,46	9,28	41	33
12	29,5	14,78	50	33
14	37,68	22,49	60	36

Середня інтенсивність трафіку γ_{cp} в модифікованому ядрі значно перевищує відповідні значення для початкової топології (для N=6 на 76%, для N=8 на 78%, для N=10 на 92%, для N=12 на 81%, для N=14 на 81%). Середньоквадратичне відхилення σ і, особливо, його приведені значення (коефіцієнт розсіювання) суттєво менше, чим для попередньої топології (для N=6 на 55%, для N=8 на 51%, для N=10 на 35%, для N=12 на 33%, для N=14 на 31%). Слід відмітити постійність неявного коефіцієнту балансування навантаження при змінах інтенсивності трафіку - $\lambda_0 = \lambda_{0,1} = \lambda_{0,2} = \lambda_{0,3} = 0,59$, при цьому це значення не залежить від числа N маршрутизаторів ABR, тобто від

розмірів ядра автономної системи. В останньому стовпчику табл.2 наведено процентне збільшення кількості широкосмугових каналів ξ при переході до модифікованої топології. Видно, що це збільшення є помірним. Канали з меншою шириною смуги виконують виключно резервні функції.

Висновки

1. З використанням неявного коефіцієнту балансування навантаження ILBI досліджено топологію ядра автономної системи OSPF-мережі, орієнтованого на реалізацію тунелювання між областями автономної системи, підключеними до одноіменних ABR маршрутизаторів.

2. Запропоновано модифікацію коефіцієнта ILBI, визначаючи його в залежності від відносної інтенсивності інформаційного трафіка в каналах ядра. Досліджено ядра з різною кількістю ABR маршрутизаторів. На цій основі проведено модифікацію топології ядра, що дозволило реалізувати більш рівномірний розподіл навантаження по каналам зв'язку при значно більшій середній швидкості переміщення пакетів в ядрі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хилл Б. Полный справочник по Cisco. – СПб.: Издательский дом „Вильямс”, 2006. – 1078 с.
2. Ground Vic, Houlden Nigel. Some Notes and Results on Bandwidth-based Routing and Implicit Load Balancing. - Proc. of the 8th Int. Network Conference INC 2010, Chapter 1. – P. 19-30.
3. Bhandari R. Survivable Networks: Algorithms for Diverse Routing. – Springer, 1998. – 465 p.
4. Paula Herman W., Almeida Amazonas J.R. Hop-by-hop Routing Convergence Analysis Based on Paths Algebra. – Proc. IEEE Conf. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics (CERMA, 2007), Morelos, Mexico. - P. 9-14.
5. Rezaul K.M. Estimating Long-Range Dependent Self-Similar Network Traffic. – Performance Evaluation and Control, PhD Thesis, University of Wales, October 2007.
6. Хандецький В.С. Модифікація топологій OSPF-мереж з урахуванням навантаження каналів зв'язку. – Матеріали VIII Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», м.Запоріжжя, 21-23 вересня 2016 р. – С. 76-77.