

РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ОВТ

УДК 621.39.03

Б.М. Бойчук, С.В. Давіденко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

ТЕНЗОРНИЙ АНАЛІЗ ПЕРЕХОДУ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ В NGN

Розглянуто можливі варіанти переходу до мережі NGN, використовуючи критерій оптимізації затримок. На основі незвідних представлень наведено порівняльний аналіз транспортної та NGN мережі.

Ключові слова: телекомунікаційна система, мережа NGN, передавання даних, тензорне моделювання.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день розпочалися зміни подальшого розвитку телекомунікаційної системи в напрямку побудови мережі зв'язку наступного покоління – NGN (Next Generation Network) [1–3]. Завдання проектувальника полягає в пошуку раціональних шляхів переходу від експлуатованої нині мережі електров'язку: телефонної, обміну даними, кабельного телебачення із вузлами до мережі NGN. Проте з практичної точки зору інтерес представляє тільки той спосіб побудови NGN, який заснований на цілеспрямованому розвитку телефонної мережі загального користування.

Характерним для опису процесів передачі даних пакетним трафіком є виявлені на практиці властивості самоподібності або масштабної інваріантності статистичних характеристик [4, 5]. У зв'язку з виявленням цих особливостей мережних процесів особливу актуальність набувають питання розробки конструктивних методів дослідження фрактальності стосовно сучасних телекомунікаційних мереж та врахування впливу на характер формування керуючих впливів при передачі пакетного трафіка. У цьому випадку ключовою ланкою в структурі розподіленого мережного керування процесами повинна стати система прогнозування стану віртуальних з'єднань, в якій враховуються особливості і стохастична природа мережного трафіка.

У цих умовах розробка нових мережних технологій і підвищення ефективності роботи сучасних телекомунікаційних систем вимагають створення математичних моделей, що найбільш повно відбивають зазначені вище властивості мережних процесів.

Метою статті є розгляд можливих варіантів переходу до мережі NGN, використовуючи критерій оптимізації затримок та порівняльний аналіз транспортної та NGN мережі на основі незвідних представлень з оцінкою топологічної структури NGN мережі.

Основна частина

1. Формування основних параметрів і даних для дослідження транспортної та NGN мереж

Для наших досліджень була вибрана існуюча телефонна мережа міста Львів зі зв'язком між вузлами, зазначеними у таблиці 1.

Таблиця 1

Дані про встановлені транспортні зв'язки міської мережі

	ОПТС-2	АТС-63	АТС-62	АТС-267	АТС-233	АТС-52	ОПТС-1	АТС-72	Утел	АТС-75	АТС-251	АТС-221	АТС-270
ОПТС-2		61	40	16	25	18	70	26	13	34	22	33	18
АТС-63	61		18	7	6	13	36		17	2		7	
АТС-62	40	18		2		7	18		13				
АТС-267	16	7	2				7	1	7	4			
АТС-233	25	6					15		7				
АТС-52	18	13	7				24		7			2	3
ОПТС-1	70	36	18	7	15	24		29	32	32	1	22	14
АТС-72	26			1			29		18	30	4	1	
Утел	13	17	13	7	7	7	32	18		11	7	8	11
АТС-75	34	2		4			32	30	11		1	10	4
АТС-251	22						1	4	7	1			
АТС-221	33	7				2	22	1	8	10			
АТС-270	18					3	14		11	4			
Всього	376	167	98	44	53	74	300	109	151	128	35	83	50

Відомо, що для нормального функціонування мережі, з мінімальним перенавантаженням на окремих ділянках, завантаженість повинна бути в середньому одна третя від максимально можливої. Враховуючи це, було здійснено імітаційне

моделювання завантаженості мережі згідно з таблицею 2, де надана кількість пакетів з середньою довжиною 2,048 Мбіт, що передається від вузла-джерела до вузла-адресата. Вузол транспортної мережі описується системою масового обслуговування типу М/М/1, де інтенсивність обслуговування заявки $\mu=0.75$. Пропускна здатність вузлів транспортної мережі – ρ не більше 0,6. Пропускна здатність вузлів транзитних вузлів є максимальною. Пропускна здатність транзитних вузлів в мережах NGN приймаємо рівною нескінченності. Пропускна здатність вузлів soft swich ρ не більше 0,8. Черга в мережах NGN приймається рівною нескінченності (дуже велика кількість місць для очікування), водночас черга в існуючій мережі приймається рівною 1/3 від максимальної пропускної здатності.

Таблиця 2

Імітаційне моделювання завантаженості мережі

	АТС-63	АТС-62	АТС-267	АТС-233	АТС-52	АТС-72	Утел	АТС-75	АТС-251	АТС-221	АТС-270	Всього
АТС-		7	5	2	7	1	15	10	1	5	3	56
АТС-	9		1	2	3	4	4	6	2	2		33
АТС-	3	2			1	2	1	1		1		11
АТС-	3	1	1		1	1	1	4	1	1	1	15
АТС-	5	4					2	4	2	2	2	21
АТС-	3	2	1	3	1		13	8	2	3	2	38
Утел	13	6	2	4	4	8		17	1	3	4	62
АТС-	8	5	3	1	4	11	12		1	9	2	56
АТС-		1		1		1	4			1	1	9
АТС-	4	1	2	3	3	5	1	7			2	28
АТС-	5	1		2	1		3	3	2	3		20
Всього	53	30	15	18	25	33	56	60	12	30	17	349

Відомо [4], що при передачі даних ефективним є використання K – шляхової маршрутизації. Залишається питання, яка кількість шляхів є оптимальною, враховуючи обмеження [4]

$$\sum_{l=1}^m v_{kl}^{(j)} \leq K, \quad (1)$$

$$v_{kl}^{(j)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \sum_{i=1}^m \chi_{kl}^{(i,j)} > 0; \\ 0, & \text{якщо } \sum_{i=1}^m \chi_{kl}^{(i,j)} = 0. \end{cases}$$

Тут $\chi_{kl}^{(ij)}$ – доля потоку γ_{ij} , яка проходить між вузлами k та l , $0 \leq \chi_{kl}^{(ij)} \leq 1$; γ_{ij} – середнє значення трафіка, що виникає між вузлом-джерелом i та вузлом-адресатом j .

Для визначення оптимальних маршрутів передачі даних необхідно, використовуючи теорію графа, визначити множину всіх можливих шляхів [5]. За допомогою формули Літтла $H = TL$ та маючи відомості про пропускна здатність кожного вузла та гілки L можна знайти час перебування заданого пакета H у мережі в залежності від всіх можливих маршрутів у

$$T = HL^{-1}u.$$

Для K – шляхової маршрутизації вибирають множину u , для яких час затримки є найменшим.

Середня затримка повідомлень в мережі визначається з формули Літтла у вигляді [4]

$$T = \frac{1}{\gamma} \lambda_{kl} t_{kl}, \quad (2)$$

де t_{kl} – середній час перебування пакета між вузлами (kl);

γ – повний зовнішній трафік;

λ_{kl} – потік в гілці (kl), який обумовлений потоком γ_{ij} :

$$\lambda_{kl} = \gamma_{ij} \cdot \chi_{kl}^{(i,j)}. \quad (3)$$

Згідно з представленими результатами таблиці 2 повний зовнішній трафік $\gamma = 349$ пакетів біт.

2. Моделювання часових параметрів трафіка транспортної мережі

Першочерговою задачею є визначення часу затримки від вузла-джерела до вузла-адресата для всіх можливих маршрутів, яких є три або чотири. Все залежить, чи є згідно з таблицею 1, прямий зв'язок між вузлами (перший рядок в таблиці 3), якщо ні, то передача може здійснюватись, коли в якості транзиту виступає ОПТС 1 (другий рядок) або ОПТС 2 (третій рядок) чи одночасно транзитами виступають ОПТС 1 та ОПТС 2 (четвертий рядок). Останній маршрут, згідно з нашими дослідженнями, жодного разу не відповідав випадку найменшого часу затримки між вузлами-джерела та вузлом-адресата, таблиця 3. Жирним шрифтом виділені маршрути, для яких час затримки є найменшим, що відповідає $K = 1$ середньому часу перебування пакета між вузлами t_{kl} . Для інших випадків, коли $K > 1$, необхідно використовувати тензорне моделювання. Так, у випадку, коли $K = 2$, крім маршруту, який виділений в таблиці 3 жирним шрифтом, використовується шлях, для якого час затримки є найменшим після даного (виділений курсивом). З таблиці 3 спостерігаємо, що згідно з нашими дослідженнями, можливі два випадки передачі даних: напряму між вузлами та через певний ОПТС (рис. 1а) або через кожний ОПТС (рис. 1б). На рис. 1 зображено топологічну модель для переходу від системи координат гілок Γ мережі до системи координат незалежних контурів K і пар вузлів ПВ [6]. В кожному з розглянутих випадків спостерігається тільки один незалежний контур $K1$.

Таблиця 3

Середній час затримки від АТС 63 до всіх інших вузлів для кожного випадку можливого маршруту

АТС-62	АТС-267	АТС-233	АТС-52	АТС-72	Утел	АТС-75	АТС-251	АТС-221	АТС-270
0,949	3,488	2,441	5,258		4,308	48,828		3,488	
12,023	8,278	2,697	7,988	1,138	19,711	11,361	2,26	7,565	5,246
5,408	5,012	2,304	8,275	0,786	9,345	11,311	1,162	4,777	2,407
13,609	9,411	3,15	9,674	1,364	23,11	13,626	2,459	8,697	5,925

Таблиця 5

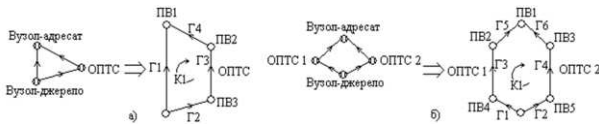


Рис. 1. Схематична структура телекомунікаційної мережі між вузлом-джерелом та вузлом-адресатом, коли $K=2$, та перехід їх до топологічної моделі для вибору координатних шляхів

На транзитних вузлах є певна затримка часу, але для спрощення розрахунків, для тензорної моделі необхідно забезпечити, щоб на всіх вузлах $T_b=0$, тому замість вузла ОПТС додано ще додаткову гілку Г3 (рис. 1а, Г3 та Г4 рис. 1б).

Враховуючи рис. 1 та [6, 7], отримано матриці контраваріантного C та коваріантного перетворення A , від системи координат гілок мережі до системи координат незалежних контурів і пар вузлів у вигляді:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

де A , C відповідає випадку, представленому на рис. 1а. Тепер можна визначити зв'язок між пропускною здатністю L_r та L_{kv} для системи координат гілок мережі та незалежних контурів і пар вузлів, відповідно

$$L_r = CL_{kv}C^t \quad \text{або} \quad L_{kv} = AL_rA^t, \quad (4)$$

Користуючись тензорною моделлю [6, 7], можна визначити час затримки та величину пакета, що забезпечує кожний з маршрутів. Час перебування пакетів між вузлами надано в таблиці 4 для випадку $K=2$.

Коли $K=3$, можливі три випадки передачі даних, які представлені на рис. 2, де зображено топологічну модель для переходу від системи координат гілок мережі до системи координат незалежних контурів і пар вузлів. У кожному з розглянутих випадків спостерігається вже два незалежні контури $K1$ та $K2$.

Таблиця 4

Час затримки від АТС 63 до всіх інших вузлів при $K=2$ для транспортної мережі

АТС-62	АТС-267	АТС-233	АТС-52	АТС-72	Утел	АТС-75	АТС-251	АТС-221	АТС-270
0,808	2,057	1,185	3,717	1,651	2,949	5,668	0,768	2,016	1,651

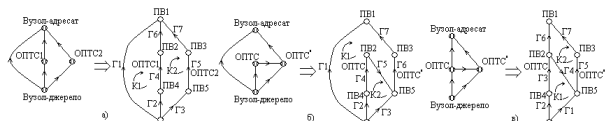


Рис. 2. Схематична структура телекомунікаційної мережі між вузлом-джерелом та вузлом-адресатом, коли $K=3$, та перехід їх до топологічної моделі для вибору координатних шляхів

Використовуючи для відповідних випадків матриці переходу та алгоритм за допомогою тензорного аналізу [6, 7], отримано час затримки між вузлами (таблиця 5).

Час затримки від АТС 63 до всіх інших вузлів при $K=3$ для транспортної мережі

АТС-62	АТС-267	АТС-233	АТС-52	АТС-72	Утел	АТС-75	АТС-251	АТС-221	АТС-270
0,755	1,648	0,823	2,293	0,463	2,749	5,486	0,586	1,592	1,446

З допомогою (2) та отриманих результатів, представлених в таблиці 3, таблиці 4 та таблиці 5, отримуємо середній час затримки повідомлень в мережі для кожного випадку K -шляхової маршрутизації

$$1 - T = 0,75 \text{ с}; \quad 2 - T = 0,43 \text{ с}; \quad 3 - T = 0,37 \text{ с}.$$

Порівнюючи отримані результати середньої затримки повідомлень, бачимо, що $K=2$ є в 1,74 раза кращим результатом, ніж для випадку $K=1$, водночас $K=3$ є кращим, ніж $K=2$ всього в 1,16 раза. Проводячи детальний аналіз отриманих результатів між таблицями 4 та таблицями 5, спостерігаємо, що існує багато пар вузлів, між якими середній час затримки майже не відрізняється, коли $K=2$ та $K=3$, наприклад, АТС-72 та АТС-63, АТС-72 та АТС-62 (табл. 4 та табл. 5), на відміну від випадку, коли $K=1$. Крім того, враховуючи складність та можливі неузгодження для розділення пакета на три різні частини для $K=3$ в порівнянні, ніж для $K=2$, очевидним є найефективнішим використання саме двошляхової маршрутизації.

З отриманих досліджень випливає, що алгоритм пошуку оптимальних шляхів для прогнозування трафіка транспортних мереж за допомогою тензорної моделі зводиться до вибору можливих варіантів передачі даних, при $K = 2$ є тільки два варіанти (рис. 1), а при $K = 3$ є три (рис. 2). Отже, це дозволяє спростити програмне забезпечення для алгоритму визначення передачі даних. Важливим є той факт, що матриці переходу не змінюються.

3. Моделювання часових параметрів трафіка NGN мереж

Вибір способу модернізації мережі з проведеною оптимізацією структури може бути зроблений після аналізу витрат та прогнозування отриманих результатів для кожного можливого випадку.

Враховуючи мінімальні часи затримки по всіх можливих ребрах, можливо пропонувати замінити ОПТС на центральний soft switch.

Визначити середній час затримки мережі для випадку, коли або ОПТС 1, або ОПТС 2 будуть модернізовані на центральний soft switch, тоді як інший ОПТС на початковому етапі модернізації залишиться лише транзитним soft switch вузлом, в подальшому для ефективності мережі він, можливо, буде модернізований в мультисервісний комутатор.

Для проведення порівняльної оцінки після модернізації NGN на базі транспортної мережі припустимо, що

- на початковому етапі передбачається, що вузли транспортної мережі будуть модернізовані в мультисервісні абонентські концентратори (МАК), а вузол Утел модернізується у транспортний шлюз;

- всі лінії між вузлами на фізичному рівні з'єднуються з використанням транзитних вузлів, тобто кількість ліній збільшується між вузлами на фізичному рівні;
- водночас згідно з концепцією NGN віртуальної мережі, зв'язок між вузлами проводиться тільки через soft switch.

Після модернізації мережі транспортної в NGN К-шляхова маршрутизація буде відрізнятися від випадків, представлених на рис. 1 та рис. 2, і матиме вигляд за схематичною структурою і топологічною моделлю згідно з рис. 3. Таким чином, в мережах NGN може відрізнятися кількість шляхів маршрутизації до центрального soft switch і після.

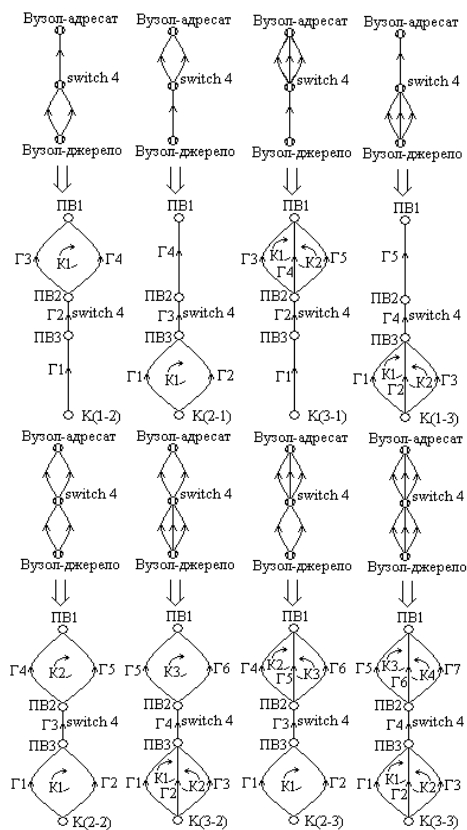


Рис. 3. Схематична структура телекомунікаційної мережі між вузлом-джерелом та вузлом-адресатом для всіх випадків багатошляхової маршрутизації в NGN мережі та перехід їх до топологічної моделі для вибору координатних шляхів

Згідно з рис. 3 можливими є такі випадки:

- коли від вузла-джерела до центрального soft switch або від центрального soft switch до вузла-адресата $K=2$, а в решті шляху $K=1$, тобто $K(2-1)$ або $K(1-2)$, відповідно;
- коли від вузла-джерела до центрального soft switch або від центрального soft switch до вузла-адресата $K=3$, а в решті шляху $K=1$, тобто $K(3-1)$ або $K(1-3)$, відповідно;
- коли від вузла-джерела до центрального soft switch або від центрального soft switch до вузла-адресата $K=2$, а в решті шляху $K=3$, тобто $K(2-3)$ або $K(3-2)$, відповідно;
- коли від вузла-джерела до центрального soft switch і від центрального soft switch до вузла-

адресата $K=2$ або $K=3$, тобто $K(2-2)$ або $K(3-3)$, відповідно.

У NGN мережі для багатошляхової маршрутизації пропонуємо замінити: замість позначення K , що дорівнює певному шляху, позначати через дужки і представляти кількість шляхів до центрального soft switch (перше число) і від центрального soft switch (друге число).

За аналогією, як для транспортної мережі, необхідно прогнозувати час затримки передачі даних від вузла-джерела до вузла-адресата для кожного з можливих шляхів. Для прикладу, час затримки від МАК 63 до всіх інших вузлів при середньому навантаженні один пакет у випадку, коли центральний soft switch модернізований замість ОПТС 1, представлено в таблиці 6.

Таблиця 6

Середній час затримки від МАК 63 до всіх інших вузлів для одного середнього пакета для кожного можливого шляху, коли центральний soft switch модернізований замість ОПТС 1

62			267		
0,417	0,442	0,261	0,372	0,487	0,305
0,416	0,441	0,26	0,371	0,486	0,304
0,234	0,259	0,078	0,189	0,304	0,122
транспортний шлюз			75		
0,234	1,22	1,219	0,634	0,225	0,451
0,233	1,219	1,218	0,633	0,224	0,45
0,051	1,037	1,036	0,451	0,042	0,268

233			52			72		
0,291	0,568	0,386	0,23	0,629	0,447	0,223	0,454	0,453
0,214	0,567	0,385	0,214	0,628	0,446	0,222	0,453	0,452
0,108	0,385	0,203	0,047	0,446	0,264	0,04	0,271	0,27
251			221			270		
0,579	0,281	0,396	0,522	0,337	0,339	0,467	0,392	0,284
0,578	0,28	0,395	0,521	0,336	0,338	0,466	0,391	0,283
0,396	0,098	0,213	0,339	0,154	0,156	0,284	0,209	0,101

Зазначимо, що для досліджуваної мережі існують тільки три різні шляхи від будь-якого вузла має до центрального soft switch. Так, у випадку, коли центральний soft switch модернізується замість ОПТС1, передача даних може здійснюватись:

1) шлях пролягає через мінімальну кількість вузлів, що належать до STM-4 (в таблиці 6 відповідають першому стовпчику кожному з МАК, перший рядок для МАК 63);

2) шлях пролягає через мінімальну кількість вузлів, що належать до STM-16 (в таблиці 6 відповідають другому стовпчику кожному з МАК, другий рядок для МАК 63);

3) шлях пролягає через транзитний вузол ОПТС 2, який залишається для подальшої комерційної експлуатації в якості транзитного soft switch (в таблиці 6 відповідають третьому стовпчику кожному з МАК, третьому рядку для МАК 63).

Зауважимо, що 1) та 2) випадки не розглядали можливість транзиту через soft switch (ОПТС2). Перераховані варіанти не відносяться до МАК 72 та транспортний шлюз (УТЕЛІ), в яких передача даних повинна здійснюватись іншим чином:

1) шлях пролягає напругу до switch 4 без транзити через soft switch (ОПТС2) (в таблиці 6 відповідають першому стовпчику);

2) шлях пролягає через транзитний вузол soft switch (ОПТС2), мінімальну кількість вузлів, що належать до STM-4 (в таблиці 6 відповідають другому стовпчику);

3) шлях пролягає через транзитний вузол soft switch (ОПТС2), мінімальну кількість вузлів, що належать до STM-16 (в таблиці 6 відповідають третьому стовпчику).

Для випадку, коли центральний soft switch модернізується замість ОПТС2, передача даних може здійснюватись аналогічним чином, тільки soft switch (ОПТС1) вже стає транзитним вузлом.

При **K(1-1)** обирається шлях, для якого середній час перебування пакета між вузлами є найменшим, для МАК 63 в таблиці 6 та таблиці 7 виділені жирним шрифтом.

Для **K(2-1)** та **K(1-2)** вибирається додаткова гілка, з найменшим часом затримки, серед маршрутів, що не використовувались у випадку **K(1-1)**, яка в таблиці 6 та таблиці 7 виділена курсивом. Матриці перетворення для даного випадку записують у вигляді:

$$A' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad C' = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A'' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad C'' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

де A' , C' відповідає випадку **K(1-2)**, а A'' , C'' - **K(2-1)**.

У випадку **K(3-1)** та **K(1-3)**, для тришляхової маршрутизації вибирається вузол, для якого час затримки до або після центрального softswitch є більшим. Коли **K(2-2)**, не вибирають гілку від кожного вузла, що відповідають найбільшому часу затримки. У випадку **K(3-2)** та **K(2-3)**, вибирають одну гілку що відповідає найбільшому часу затримки для всієї множини маршрутів u , яка є єдиною, що не буде використовуватись.

За допомогою (2) визначено середній час затримки повідомлень в модернізованій мережі NGN, для всіх видів маршрутизації (таблиця 7). На основі отриманих результатів видно, що при модернізація центрального soft switch замість ОПТС1 середній час затримки є суттєво меншим для всіх випадків багатошляхової маршрутизації, ніж для центрального soft switch (ОПТС2). Необхідно зазначити для центрального soft switch (ОПТС2) значення T є більшим, ніж для транспортної мережі.

З таблиці 7 спостерігаємо, що для центрального soft switch (ОПТС1) середній час затримки майже однаковий для **K(1-2)**, **K(1-3)**, **K(2-2)** і не є суттєво гіршим, ніж для **K(2-3)** та **K(3-3)**. З огляду на це можна вважати, що найефективніше використовувати випадок **K(2-2)**, що є відносно

найпростішим для алгоритму поділу пакетів, і зникає додаткова необхідність вибору, з якого вузла має бути більше чи менше маршрутів до центрального soft switch.

Таблиця 7

Середній час затримки для всіх видів маршрутизації в мережі NGN

Центральний soft switch (ОПТС1), с	Центральний soft switch (ОПТС2), с	Вид багатошляхової маршрутизації
0,458	0,982	K(1-1)
0,352	0,863	K(1-2) або K(2-1)
0,346	0,777	K(1-3) або K(3-1)
0,34	0,74	K(2-2)
0,31	0,68	K(2-3) або K(3-2)
0,297	0,6	K(3-3)

4. Аналіз потоків у телекомунікаційних мультисервісних мережах

Параметри γ_{ij} та λ_{kl} , які відносяться до тензора другого роду. Оскільки трафік від вузла-джерела у вузол-адресат в порівнянні з протилежним напрямком є різним, то γ_{ij} не є симетричним тензором. Водночас потік λ_{kl} є симетричним тензором в розглянутій мережі, в якій зайнятість гілки не залежить від напрямку передавання навантаження: з k до l чи з l до k вузлів. Хоча антисиметричність потік λ_{kl} дозволяє здійснити аналіз несиметричних видів трафіка в мережах доступу.

Згідно з тензорним аналізом відомо [8], що несиметричний тензор e_{ij} можна розкласти на симетричний b_{ij} і антисиметричний тензор w_{ij}

$$e_{ij} = b_{ij} + w_{ij},$$

$$b_{ij} = 1/2(e_{ij} + e_{ji}), \quad w_{ij} = 1/2(e_{ij} - e_{ji}). \quad (5)$$

Водночас симетричний тензор другого роду розкладається на скаляр та девіатор. Скаляр в даному випадку буде середнім значенням діагональних компонент, а девіатор характеризує, наскільки симетричний тензор відрізняється від середнього значення діагональних компонент.

Враховуючи, що таблицю 2 можна вважати як тензорне представлення для γ_{ij} , тоді за допомогою (5) можна розкласти на симетричний тензор.

Таблиця 8

Симетричний тензор

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	8	4	2,5	6	0	2	14	9	0,5	4,5	4	
0	8		1,5	1,5	3,5	0	3	5	5,5	1,5	1,5	0,5
0	4	1,5		0,5	0,5	0	1,5	1,5	2	0	1,5	0
0	2,5	1,5	0,5		0,5	0	2	2,5	2,5	1	2	1,5
0	6	3,5	0,5	0,5		0	0,5	3	4	1	2,5	1,5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	3	1,5	2	0,5	0		10,5	9,5	1,5	4	1
0	14	5	1,5	2,5	3	0	10,5		14,5	2,5	2	3,5
0	9	5,5	2	2,5	4	0	9,5	14,5		0,5	8	2,5
0	0,5	1,5	0	1	1	0	1,5	2,5	0,5		0,5	1,5
0	4,5	1,5	1,5	2	2,5	0	4	2	8	0,5		2,5
0	4	0,5	0	1,5	1,5	0	1	3,5	2,5	1,5	2,5	

В даному випадку антисиметричний тензор показує, наскільки трафік γ_{ij} відрізняється від трафіка γ_{ji} . Необхідно зазначити, що всі діагональні компоненти $\gamma_{ii}=0$, оскільки в наших дослідженнях вузол не може одночасно розглядати вузол як вузол-джерело і як вузол-адресат, тобто можливість петель згідно з теорією маршрутизації виключається.

Порівнюючи отримані результати для транспортної мережі, спостерігаємо, що потік між вузлами при $K=1$ є в більшості випадків більшим, ніж для багатошляхової маршрутизації. Водночас для $K>1$ потоки, пов'язані з soft switch, є більшими, що пояснюється ростом транзиту через розглядувані вузли, як видно з діагональних компонент, які відповідають за транзит через кожен вузол. Зазначимо, що λ_{kl} при $K=2$ та $K=3$ в більшості випадків не суттєво відрізняються.

Скалярне значення для λ_{kl} в транспортній мережі для всіх випадків K має вигляд:

$$1 - 12,62 \quad 2 - 16,61 \quad 3 - 19,49$$

Для NGN мережі обмежимося представленням лише діагональних компонент λ_{kl} , тим більше враховуємо той факт, що ненульовими компонентами будуть лише λ_{kl} , що мають безпосереднє з'єднання на фізичному рівні.

Для NGN мереж спостерігаємо, що через центральний soft switch проходить весь трафік $\gamma=349$. Водночас через окремі вузли та гілки значення λ_{kl} є більшим за трафік мережі $\gamma=349$. Це можна пояснити, що λ_{kl} складається з суми потоку, який передається до і від центральний soft switch.

Порівнюючи отримані результати при модернізації центрального soft switch замість ОПТС1 та ОПТС2, спостерігаємо, що в більшості випадків λ_{kl} є меншим для центрального soft switch (ОПТС1), в тому числі скалярні значення. Слід зазначити, що при $K(1-1)$ існують вузли та гілки, які не задіяні, на відміну від багатошляхової маршрутизації.

Висновки

Продемонстровано можливі варіанти переходу до мережі NGN, використовуючи критерій оптимізації затримок, і доведено доцільність переходу вузлів ОПТС на технологію soft switch.

На основі незвідних представлень проведено порівняльний аналіз транспортної та NGN мережі і обґрунтовано доцільність використання K шляхової маршрутизації.

На основі запропонованих моделей здійснено оцінку топологічної структури NGN мережі.

Список літератури

1. Пинчук А.В., Соколов Н.А. Модернізація ГТС без вузлов // *Вісник зв'язу*. – № 12. – 2005. – С. 64 – 68.
2. Пинчук А.В., Соколов Н.А. Модернізація ГТС без вузлов // *Вісник зв'язу*. – № 3. – 2006.
3. Пинчук А.В., Соколов Н.А. Модернізація ГТС с узлами входящего сообщения // *Вісник зв'язу*. – № 1. 2006. – С. 1–6.
4. Березко М.П., Вишневікий В.М., Левнер Е.В. Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных // *Передача информации в компьютерных сетях*. – Т. 1, № 2. – 2001. – С. 103-125.
5. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
6. Основы теории систем зв'язку / М.В. Захарченко, В.В. Поповський, В.Ф. Олійник, С.М. Горохов. – Одеса: ОНАЗ. – 2001. – 194 с.
7. Крон Г. Тензорный анализ сетей. – М.: Сов. радио. – 1978. – 719 с.
8. Схоутен Я.А. Тензорный анализ для физиков: Пер. с англ. – М., 1965. – 456 с.

Рецензент: А.М. Зубков, д.т.н., с.н.с., Академія сухопутних військ, Львів.

ТЕНЗОРНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ В NGN

Б.Н. Бойчук, С.В. Давиденко

Рассмотрены возможные варианты перехода к сети NGN, используя критерий оптимизации задержек. На основе несводимых представлений приведен сравнительный анализ транспортной и NGN сети.

Ключевые слова: телекоммуникационная система, сеть NGN, передача данных, тензорное моделирование.

TENSOR ANALYSIS OF TRANSPORT NETWORK TRANSITION INTO NGN

B. Boychuk, S. Davidenko

The possible variants of transition to NGN net, using the criterion of delay optimization are considered. On basis of the irreducible performances comparative analysis of transport and NGN nets was performed.

Keywords: telecommunication system, NGN net, data transmitting, tensor modeling.