



Р. І. Ліскевич¹, О. І. Ліскевич², К. М. Обельовська³, Р. П. Панчишин³

¹ ТзОВ "Українські промислові телекомунікації", м. Львів, Україна

² ФОП Ліскевич Олег Ігорович, м. Львів, Україна

³ Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПАКЕТІВ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Ефективність маршрутизації пакетів в телекомунікаційних мережах є і залишатиметься одним з основних чинників, що визначають продуктивність мереж та можливість забезпечення потрібної якості надання сервісів. Одним з найпоширеніших протоколів маршрутизації, що використовують в автономних системах мережі Інтернет є протокол OSPF (англ. *Open Shortest Path First*). Протокол OSPF забезпечує передачу пакетів по найкоротших шляхах, обчислених за певним, але одним критерієм. Проте зростання трафіку мереж, а особливо, збільшення в ньому мультимедійної складової, вимагає постійного вдосконалення методів маршрутизації в наявних телекомунікаційних мережах. В даній роботі запропоновано новий алгоритм вибору шляху для маршрутних таблиць маршрутизаторів автономних систем мережі Інтернет на підставі протоколу OSPF. Алгоритм враховує три критерії: пропускну здатність каналів, кількість проміжних вузлів на шляху та затримку поширення сигналу. Для кожного критерію введено ваговий коефіцієнт. Окрім цього запропоновано інтегральний критерій, що базується на оптимальних вагах шляхів для індивідуальних критеріїв та їх вагах знайдених за двома іншими критеріями. Як критерій оптимізації використано сумарне відносне відхилення ваги шляху від ваг шляхів, розрахованих за індивідуальними критеріями. Метою оптимізації є мінімізація цього відхилення. Отримана за даним алгоритмом таблиця маршрутизації забезпечує передачу пакетів оптимальним за інтегральним критерієм шляхом, з урахуванням трьох критеріїв та їх вагових коефіцієнтів. Подальші дослідження можуть стосуватись розширення переліку критеріїв, що враховуються при оптимізації.

Ключові слова: комп'ютерні мережі; протокол OSPF; алгоритм маршрутизації; маршрутні таблиці; шляз.

Вступ

Маршрутизація пакетів є однією з основних функцій телекомунікаційних мереж. Вплив маршрутизації на ефективність функціонування мережі важко переоцінити. Маршрутизація має вплив як на якість надання послуг мережею, так і на ефективність функціонування мережі. Проблеми маршрутизації широко висвітлені в світовій науковій літературі, розроблено і успішно використовується ряд протоколів, що забезпечують маршрутизацію пакетів. Проте постійне зростання трафіку мереж, а особливо, збільшення в ньому мультимедійної складової, вимагає постійного вдосконалення наявних телекомунікаційних мереж. Оскільки ефективність мереж та їх експлуатаційні характеристики істотно залежать від способів транспортування даних, знаходження оптимальних маршрутів, проблема маршрутизації в телекомунікаційних мережах набуває особливої актуальності.

Маршрутизація пакетів здійснюється на мережевому рівні архітектури комп'ютерних мереж, завданням

якого є створення транспортної системи, що може об'єднувати низку мереж з різними технологіями передавання та довільними топологіями. Мережевий рівень відповідає за вибір маршрутів для передавання пакетів, він забезпечує доставку даних між будь-якими двома вузлами в мережі, але не несе відповідальності за надійність доставки даних. Традиційні методи маршрутизації передбачають знаходження дерева найкоротших шляхів на підставі топології мережі, використовуючи для оптимізації один критерій. Поточне завантаження мережі при цьому не враховується. Тому однією з причин, що приводять до перевантажень в мережах, є передача різних потоків спільним найкоротшим шляхом. В таких випадках реальною є ситуація, коли на вході найкоротшого шляху створюється черга пакетів, що вносить значні затримки передавання. Причиною цього є те, що всі потоки передаються найкоротшим (за певною метрикою) маршрутом, і внаслідок цього він може бути перевантажений. Маршрутизацію, орієнтовану на забезпечення необхідної якості сервісу QoS (англ. *Qual-*

lity of Services), можна організувати більш ефективно, якщо при виборі маршрутів враховувати вимоги до необхідної якості обслуговування для різних видів трафіку, стан та завантаження мережі, методи інжинірингу трафіку TE (англ. *Traffic Engineering*). Обнадійливим доповненням у сценаріях забезпечення якості обслуговування є включення міжрівневого підходу, коли різні рівні обмінюються інформацією, щоб мати змогу приймати кращі управлінські рішення щодо якості обслуговування [3], [6], [12].

Об'єкт дослідження – маршрутизація пакетів у автономні автономних системи системах мережі Інтернет.

Предмет дослідження – методи знаходження шляхів передачі пакетів та формування маршрутних таблиць процеси маршрутизації, що відбуваються в автономних системах мережі Інтернет маршрутизаторів.

Мета роботи – розробити алгоритм вибору шлюзу для маршрутних таблиць, який при оптимізації враховував би вимоги трьох критеріїв та і їх коефіцієнти важливості. Алгоритм повинен забезпечити мінімізацію сумарного відносного відхилення ваги вибраного шляху від оптимальних шляхів, знайдених за індивідуальними критеріями.

Для досягнення зазначеної мети визначені такі *основні завдання дослідження*: дослідити можливості врахування одночасно декількох критеріїв при оптимізації маршрутів передачі пакетів та їх ваги у сумарному інтегрованому критерії.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше запропонований алгоритм знаходження шлюзу на шляху до віддаленої мережі на підставі інтегрованого критерію, що враховує як три метрики, так і їх долю в комбінованому критерії.

Практична значущість результатів дослідження – можливість застосування запропонованого алгоритму при побудові маршрутних таблиць.

Матеріали та методи дослідження. Одним з найпоширеніших протоколів маршрутизації, що використовують в автономних системах AS (англ. *Autonomous System*) мережі Інтернет є протокол OSPF (англ. *Open Shortest Path First*), описаний у роботі [10]. Більшість виробників маршрутизаторів підтримують цей протокол. Протокол OSPF забезпечує передачу пакетів по найкоротших шляхах, обчислених за певним, але одним критерієм. За алгоритмом Дейкстри знаходиться дерево найкоротших шляхів від кожного вузла до всіх інших відомих вузлів. На підставі дерева найкоротших шляхів формуються таблиці маршрутизації. Вхідними даними для алгоритму Дейкстри є зважений граф, що відповідає топології мережі. Алгоритм розглядає кожен маршрутизатор як вузол графу, кожен канал як його ребро, а вагу ребра як значення метрики каналу – параметру, що використовується при оцінці його вартості.

Алгоритм знаходить дерево найкоротших шляхів від вузла-джерела (кореня графу) до кожного вузла призначення. Загальна вартість кожного шляху обчислюється як сума ваг окремих каналів, що входять в нього. Для передачі пакетів вибирається той шлях загальна вартість якого є мінімальною.

За замовчуванням як метрику використовують пропускну здатність каналу. Чим більша пропускну здатність каналу, тим менша його вартість, таким чином пакет буде відправлений по шляху, що забезпечить макси-

ально можливу пропускну спроможність. На підставі дерева найкоротших шляхів будується таблиця маршрутизації, яка зберігається в пам'яті маршрутизаторів і використовується для вибору наступного вузла на шляху пакета до вузла призначення. Цей вузол прийнято називати шлюзом GW (англ. *GateWay*). Типові алгоритми маршрутизації при знаходженні дерева найкоротших шляхів як метрику також використовують кількість каналів (стрибків, хопів) на шляху між вузлом-джерелом та вузлом призначення.

Недоліком вищеописаної технології є те, що шлях передачі пакетів враховує тільки один критерій, за яким знаходиться оптимальний шлях передачі пакету. В загальному випадку це може бути не тільки пропускну спроможність каналу та кількість хопів, але і інші параметри, наприклад, відстань, затримка розповсюдження сигналу, вартість. Однак маршрут оптимізований за певним критерієм для інших критеріїв може бути не оптимальним або навіть не задовільним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемі маршрутизації присвячено багато робіт, як загального характеру, в яких порівнюється, наприклад, статична та динамічна маршрутизація [1], так і робіт, де приводиться аналіз і порівняння конкретних протоколів, пропонуються рішення з вдосконалення шляхів передачі в різних типах мереж при використанні їх за певних умов. Так, в роботах [2], [4], [13] проаналізовано протоколи обміну маршрутною інформацією. В роботі [13] аналіз проводився за результатами моделювання з використанням симулятора Riverbed Modeler, що дало змогу вивчати поведінку протоколів в мережах різних топологій, при різних швидкостях передачі даних, аналізувати різні показники, в тому числі найбільш вагомі – затримку та пропускну здатність. У роботі [2] для аналізу використано графічний емулятор GNS3, у роботі [4] – симулятор Cisco Packet Tracer. У роботі [12] запропоновано протокол маршрутизації для безпроводних сенсорних мереж, який передбачає класифікацію пакетів даних на критичні і звичайні, та виходячи з цієї категоризації, пропонує два шляхи доставки замість одного, як це, зазвичай, відбувається. Енергоефективні протоколи маршрутизації в бездротових сенсорних мережах WSN (англ. *Wireless Sensor Networks*), їх класифікація та порівняння розглядаються в [14].

Модифікований алгоритм побудови таблиці маршрутизації маршрутизатора з урахуванням двох критеріїв: пропускну здатності каналів і кількості хопів описано в роботі [9]. Чим більше хопів тим більше маршрутизаторів на шляху до пункту призначення, а кожен маршрутизатор затрачає певний час на процедуру ретрансляції. Це, водночас, збільшує сумарний час передачі пакетів, тому кількість проміжних маршрутизаторів на шляху є важливою метрикою оптимізації. Для певних застосувань важливим є і висока пропускну здатність, і мінімальна кількість хопів. Проте деякі застосування, такі як передача голосу, не вимагають значної пропускну здатності, а мінімізація кількості хопів для них є важливою.

Метод, який дає змогу вибрати маршрут для пакетів у мережі, з урахуванням впливу трьох критеріїв, описано в роботах [7], [8]. Кожен запис у маршрутну таблицю маршрутизатора здійснюється внаслідок аналізу трьох таблиць маршрутизації, знайдених за окремими

критеріями. Запис вибирається з таблиці, яка забезпечує мінімальне значення сумарного відносного відхилення від оптимальних параметрів, знайдених за окремими індивідуальними критеріями. У роботі [7] на додаток до попередніх умов вводяться вагові коефіцієнти для кожного критерію.

В роботах [7], [8], [9] розроблена методика вибору шляхів передачі пакетів з врахуванням двох та трьох критеріїв оптимізації, яка може бути використана для побудови маршрутних таблиць. Одним з основних завдань при побудові маршрутних таблиць є знаходження шляху, через який буде здійснюватися передача до віддаленого адресата. Завданням даної роботи є розроблення алгоритму вибору шляху для маршрутних таблиць, що базується на підставі трьох критеріїв та їх ваг.

Результати дослідження та їх обговорення

Як приклад об'єкту дослідження візьмемо мережу, показану на рис. 1, яка була використана в роботах [5], [7], [8] для пошуку маршрутів за інших вимог та обмежень. Це дає змогу порівняти результати та продемонструвати, що для різних вимог оптимальними можуть бути різні шляхи.

Вузли неорієнтованого графу на рис. 1 є маршрутизаторами, а ребра, що з'єднують ці вузли, – фізичні

зв'язки між цими маршрутизаторами. Тут використовують чотири різні типи фізичних середовищ, кожне із яких має певні пропускні здатності, затримку сигналу, вартість та складність побудови та обслуговування. Числа над ребрами обернено пропорційні пропускній здатності. Канали з більшою пропускною здатністю мають менші ваги, і, отже, вони є більш привабливими для маршрутизації, оскільки алгоритм Дейкстри шукає найменш витратний шлях. Позначимо числа над ребрами через C .

Кількість проміжних вузлів на шляху між кінцевими пристроями позначимо як N . Цей показник визначає кількість хопів на шляху до адресата. Числа під ребрами графа відповідають затримкам розповсюдження сигналів по фізичному середовищі передачі, цей параметр позначено через Z . Їх значення залежать від виду фізичного середовища та його довжини. Важливим параметром, що визначає це значення, є час поширення сигналу у фізичному середовищі. Значення часу поширення сигналу для вибраних каналів вказані в роботі [11]. Наприклад, для оптоволокна Фуджікура час поширення становить 0,4487 мс на 100 км, а для каналу між вузлами 1 і 2 на відстані 4 км затримка Z становить близько 19 мікросекунд.

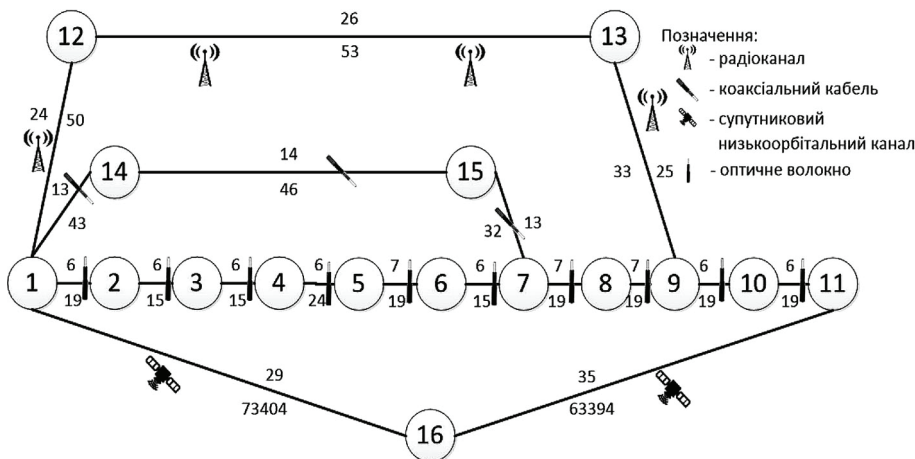


Рис. 1. Абстрактна графічна модель телекомунікаційної мережі

Запропонований алгоритм побудови маршрутних таблиць базується на алгоритмі Дейкстри знаходження дерева найкоротших шляхів. Тому першим його кроком є побудова дерева найкоротших шляхів окремо для трьох метрик. Позначимо їх як:

- M_1 – пропускна здатність каналу;
- M_2 – кількість хопів;
- M_3 – наскрізна затримка розповсюдження сигналу по фізичних середовищах каналів, що входять в знайдений шлях.

Позначимо через CM_i , NM_i , ZM_i відповідно значення величини обернено пропорційної до пропускної здатності каналу, загальної кількості хопів та загальної затримки розповсюдження сигналу по сукупному шляху з кінця в кінець (End to End) для випадку, коли оптимізація проведена для i -ої метрики.

На рис. 2 показано найкоротші шляхи (стовпець Path), отримані від вузла 1 до всіх вузлів призначення DN (англ. Destination Network) за алгоритмом Дейкстри. Шляхи на рис. 2,а) оптимізовані за метрикою M_1 , яка відповідає критерію C ($M_1 \rightarrow C$), на рис. 2,б) за метри-

кою M_2 , що відповідає критерію N ($M_2 \rightarrow N$) і на рис. 2,в) – за метрикою M_3 , що відповідає критерію Z ($M_3 \rightarrow Z$). Відповідно у стовпцях ($M_1 \rightarrow C$), ($M_2 \rightarrow N$) та ($M_3 \rightarrow Z$) наведені значення сумарних метрик найкращих шляхів за відповідними критеріями. Назвемо ці шляхи "базовими шляхами". Вони забезпечують мінімально можливе значення сумарної ваги $Cmin$, $Nmin$ та $Zmin$ за умови, що знайдені відповідно за метриками M_1 , M_2 та M_3 .

На наступному кроці для кожного базового шляху обчислюємо сумарні ваги шляхів для двох інших метрик. На рис. 2 і 3 ці параметри позначені як C , N та Z , і вони завжди більші або дорівнюють вагам базових шляхів. Отже, в усіх випадках матимемо: $C \geq Cmin$, $N \geq Nmin$ і $Z \geq Zmin$.

Для прикладу проаналізуємо оптимальні шляхи від вузла 1 до вузла 11, отримані для трьох різних метрик. Для метрики M_1 це буде такий шлях: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. Він забезпечує мінімально можливу для даної мережі загальну вагу C , рівну 63, при цьому маршрут буде мати 10 хопів, а вага загальної затримки Z становитиме 183.

DN Path	C	M2->N Z
2 1 2	6.0	19.0
3 1 2 3	12.0	34.0
4 1 2 3 4	18.0	49.0
5 1 2 3 4 5	24.0	73.0
6 1 14 15 7 6	46.0	136.0
7 1 14 15 7	40.0	121.0
8 1 12 13 9 8	82.0	155.0
9 1 12 13 9	75.0	136.0
10 1 16 11 10	70.0	136817.0
11 1 16 11	64.0	136798.0
12 1 12	24.0	50.0
13 1 12 13	50.0	103.0
14 1 14	13.0	43.0
15 1 14 15	27.0	89.0
a) 16 1 16	29.0	73404.0

DN Path	M1->C	N	Z
2 1 2	6.0	1	19.0
3 1 2 3	12.0	2	34.0
4 1 2 3 4	18.0	3	49.0
5 1 2 3 4 5	24.0	4	73.0
6 1 2 3 4 5 6	31.0	5	92.0
7 1 2 3 4 5 6 7	37.0	6	107.0
8 1 2 3 4 5 6 7 8	44.0	7	126.0
9 1 2 3 4 5 6 7 8 9	51.0	8	145.0
10 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	57.0	9	164.0
11 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	63.0	10	183.0
12 1 12	24.0	1	50.0
13 1 12 13	50.0	2	103.0
14 1 14	13.0	1	43.0
15 1 14 15	27.0	2	89.0
b) 16 1 16	29.0	1	73404.0

DN Path	C	N	M3->Z
2 1 2	6.0	1	19.0
3 1 2 3	12.0	2	34.0
4 1 2 3 4	18.0	3	49.0
5 1 2 3 4 5	24.0	4	73.0
6 1 2 3 4 5 6	31.0	5	92.0
7 1 2 3 4 5 6 7	37.0	6	107.0
8 1 2 3 4 5 6 7 8	44.0	7	126.0
9 1 12 13 9	75.0	3	136.0
10 1 12 13 9 10	81.0	4	155.0
11 1 12 13 9 10 11	87.0	5	174.0
12 1 12	24.0	1	50.0
13 1 12 13	50.0	2	103.0
14 1 14	13.0	1	43.0
15 1 14 15	27.0	2	89.0
в) 16 1 12 13 9 10 11 16	122.0	6	63568.0

Рис. 2. Таблиця шляхів, знайдених відповідно: а) за метрикою M_1 ; б) за метрикою M_2 ; в) за метрикою M_3

Для метрики M_2 оптимальним буде шлях: 1, 16, 11. Він забезпечує мінімально можливе число хопів, кількість яких N дорівнює 2. Порівняно з попереднім шляхом пропускна здатність каналу зменшилась незначно ($C = 64$), проте загальна затримка збільшилась істотно. Її значення $Z = 136798$. Отже зменшення затримки, що буде отримане за рахунок зменшення кількості хопів практично нівелюється через збільшення затримки розповсюдження сигналу.

Для метрики M_3 оптимальним буде шлях: 1, 12, 13, 9 10 11. Він забезпечить мінімально можливу для даної мережі загальну затримку між вузлами 1 та 11 ($Z = 174$). Маршрут буде мати 5 хопів, і меншу ніж у попередніх випадках пропускну здатність ($C = 87$).

Протокол OSPF реалізує покрокову маршрутизацію, записуючи тільки один (наступний) крок у таблицю

маршрутизації. Отже, достатньо проаналізувати тільки вузол, який слідує за вихідним вузлом на шляху до кінцевого вузла. У таблиці маршрутизації він називається шлюзом. Якщо для всіх трьох критеріїв як шлюз внаслідок оптимізації обрано один і той же вузол, він є оптимальним для всіх обраних критеріїв. Інформація про цей вузол буде записана до таблиці маршрутизації в полі мережевого шлюзу (англ. *GateWay*). В іншому випадку, якщо вузол після вузла-джерела неоднаковий у всіх трьох знайдених деревах, ми пропонуємо вибирати шлях на підставі інтегрального критерію.

Сформулюємо концепцію інтегрального критерію нашого завдання та правила вибору маршруту. Введемо поняття вагового коефіцієнта кожного критерію. Нехай W_C , W_N , та W_Z є ваговими коефіцієнтами критеріїв C , N та Z , де

$$W_C + W_N + W_Z = 1. \quad (1)$$

Позначимо NC_{Mi} , NN_{Mi} та NZ_{Mi} нормовані значення критеріїв C_{Mi} , N_{Mi} , Z_{Mi} відповідно у випадку, коли оптимізацію проводили для i -ї метрики. Тоді:

$$NC_{Mi} = W_C \cdot C_{\min} / C_{Mi}, \quad (2)$$

$$NN_{Mi} = W_N \cdot N_{\min} / N_{Mi}, \quad (3)$$

$$NZ_{Mi} = W_Z \cdot Z_{\min} / Z_{Mi}. \quad (4)$$

Введемо поняття інтегрального критерію. Метою застосування інтегрального критерію є мінімізація сумарного відносного відхилення ваги вибраного шляху від оптимальних значень, отриманих шляхом оптимізації за індивідуальними критеріями. Сумарне відносне відхилення знаходиться з врахуванням всіх критеріїв, в нашому прикладі – трьох. При оптимізації за метрикою M_i інтегральний критерій S_i може бути представлений у вигляді:

$$S_i = NC_{Mi} + NN_{Mi} + NZ_{Mi}, \quad (5)$$

а з врахуванням (2-4):

$$S_i = W_C \cdot \frac{C_{\min}}{C_{Mi}} + W_N \cdot \frac{N_{\min}}{N_{Mi}} + W_Z \cdot \frac{Z_{\min}}{Z_{Mi}}. \quad (6)$$

Для прикладу приймемо, що вагові коефіцієнти відповідних критеріїв мають наступні значення: $W_C = 0,5$; $W_N = 0,3$; $W_Z = 0,2$. На рис. 3 для прийнятих даних представлені значення інтегральних критеріїв для мережі наведеної на рис. 1.

DN	s1	s2	s3
2	1,00	1,00	1,00
3	1,00	1,00	1,00
4	1,00	1,00	1,00
5	1,00	1,00	1,00
6	0,94	0,77	0,94
7	0,85	0,94	0,85
8	0,87	0,73	0,87
9	0,80	0,84	0,84
10	0,79	0,71	0,75
11	0,75	0,79	0,68
12	1,00	1,00	1,00
13	1,00	1,00	1,00
14	1,00	1,00	1,00
15	1,00	1,00	1,00
16	0,97	0,97	0,37

Рис. 3. Таблиця інтегральних критеріїв

З таблиці інтегральних критеріїв знаходимо при використанні якої метрики буде забезпечено мінімальне сумарне відносне відхилення. Такою метрикою буде та, для якої значення інтегрального критерію є найбільшим. Отже, щоб знайти оптимальний шлях за інтегральним критерієм, для кожної віддаленої мережі DN знаходимо, яке значення S_i для цієї мережі є максимальним. Позначимо його через S_{max} . Число i , для якого інтегральний критерій

$$S_i = S_{max} \quad (7)$$

є номером метрики, яку треба використати під час формування маршрутною таблиці. Наприклад, для вузла призначення $DN = 11$, в таблиці рис. 3 бачимо, що максимальне значення

$$S_{max} = S_2, \quad (8)$$

а отже воно відповідає метриці M_2 . Під час формування таблиці маршрутизації цю процедуру виконують окремо для всіх мереж призначення.

На підставі наведеного вище сформулюємо алгоритм вибору шлюзу для маршрутною таблиці, що забезпечить мінімально можливе відносне відхилення від оптимальних шляхів, визначених за трьома індивідуальними критеріями.

Позначимо:

- T_{M1} , T_{M2} та T_{M3} – дерева найкоротших шляхів знайдених за метриками M_1 , M_2 та M_3 ;
- GW_1 , GW_2 та GW_3 – шлюзи знайдені відповідно за деревами T_{M1} , T_{M2} та T_{M3} .

За таких позначень алгоритм знаходження шлюзу GW до віддаленої мережі DN може бути сформульований так:

- Знаходимо дерева найкоротших шляхів T_{M1} , T_{M2} та T_{M3} .
- З дерев T_{M1} , T_{M2} та T_{M3} для мережі DN знаходимо відповідно шлюзи GW_1 , GW_2 та GW_3 .
- Якщо $GW_1 = GW_2 = GW_3$, присвоюємо це значення змінній GW і переходимо на крок 7.

Для i від 1 до 3 знаходимо значення інтегрального критерію:

$$S_i = W_C \cdot \frac{C_{\min}}{C_{M_i}} + W_N \cdot \frac{N_{\min}}{N_{M_i}} + W_Z \cdot \frac{Z_{\min}}{Z_{M_i}}$$

Знаходимо значення i , при якому $S_i = S_{max}$. Як шлюзу GW обираємо перший вузол з дерева T_{M_i} . Занесення шлюзу GW у маршрутну таблицю.

Обговорення результатів дослідження. Запропоновано алгоритм знаходження шлюзів для маршрутних таблиць, що враховує при оптимізації шляхів три критерії та коефіцієнти їх вагових впливів. Алгоритм базується на оптимальних деревах шляхів знайдених для індивідуальних критеріїв за алгоритмом Дейкстри. Використання знайдених за алгоритмом шлюзів дасть змогу мінімізувати сумарне відносне відхилення ваги знайденого шляху від оптимальних значень ваг, розрахованих на підставі окремих критеріїв.

Розроблений алгоритм формалізує процес знаходження шлюзів та спрощує процедуру побудови маршрутних таблиць, що враховують три критерії та коефіцієнти їх вагового впливу.

Висновки

Запропоновано алгоритм знаходження шлюзу для маршрутних таблиць маршрутизаторів, що враховує три

критерії та їх вагові коефіцієнти впливу. Алгоритм забезпечує мінімальне сумарне відносне відхилення ваги знайденого шляху від оптимальних значень ваг, розрахованих на підставі окремих критеріїв.

References

- [1] Aweya, J. (2021). IP Routing Protocols: Fundamentals and Distance-Vector Routing Protocols (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003149040>
- [2] Biradar, A. G. (2020). A Comparative Study on Routing Protocols: RIP, OSPF and EIGRP and Their Analysis Using GNS-3. *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (IC-RAIE)*, Jaipur, India (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/IC-RAIE51050.2020.9358327>
- [3] Chen, X., Cai, H., & Wolf, T. (2015). Multi-criteria Routing in Networks with Path Choices. 2015 *IEEE 23rd International Conference on Network Protocols (ICNP)*, San Francisco, CA, 334–344. <https://doi.org/10.1109/ICNP.2015.36>
- [4] Diansyah, T. M., Divi, Handoko, Faisal, Ilham, Calvin, Annisa, Yunianti, Chiuloto, & Risiko, Liza. (2018). Design Analysis of OSPF (Open Shortest Path First) Routing by Calculating Packet Loss Of Network WAN (Wide Area Network), 1st International Conference of SNIKOM 2018 23-24 November 2018, Medan, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1361. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1361/1/012087>
- [5] Greguš, M., Liskevych, O., Obelovska, K., & Panchyshyn, R. (2019). *Packet Routing Based on Integral Normalized Criterion*, 7th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud) 2019, Istanbul, Turkey, 393–396. <https://doi.org/10.1109/FiCloud.2019.00064>
- [6] Liskevych, R., Obelovska, K., & Sydorenko, R. (2017). Analysis of factors influencing the efficiency of computer networks using an architectural approach. *Proceedings of the IX-th Ukrainian-Polish scientific-practical conference Electronics and Information Technologies (EIT-2017)*, 28-31 August 2017, Lviv-Chinadiyev, Ukraine, (pp. 106–108). [In Ukrainian].
- [7] Obelovska, K., Panchyshyn, R. (2017). Packet routing by combined metric, taking into account three criteria and the presence of restrictions. *Technical news*, 45, 46, 35–37. [In Ukrainian].
- [8] Obelovska, K., Panchyshyn, R., Liskevych, O. (2017). Package routing for stand-alone Internet systems based on three criteria. (Ser. Computer sciences and information technologies). *Bulletin of NU "Lviv Polytechnic"*, 864, 83–90. Lviv. [In Ukrainian].
- [9] Obelovska, K., Roman, V., & Liskevych, O., (2014). Packet routing based on channel bandwidth and number of intermediate nodes. (Ser. Computer sciences and information technologies). *Bulletin of NU "Lviv Polytechnic"*, 800, 78–82. Lviv. [In Ukrainian].
- [10] OSPF Design Guide – Cisco. Retrieved from: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/7039-1.html>
- [11] Salifov, I. I. (2009). Calculation and comparison of transmission media of modern backbone communication networks by the criterion of latency (delay). *T-Comm*, 4, 42–45. [In Russian].
- [12] Samara, K., & Hosseini H. (2021). Aware Diffusion Routing Protocol with Reliable Data Delivery Provision. In: Arai, K., Kapoor, S., & Bhatia, R. (Eds). *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2020*, Vol. 3. FTC 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1290. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63092-8_32
- [13] Warsame, Mahdi Ali, & Sevin, Abdullah (2019). Comparison and Analysis of Routing Protocols Using Riverbed Modeler. *Sakarya University Journal of Science*, 23(1), 16–22. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.447345>

R. I. Liskevych¹, O. I. Liskevych², K. M. Obelovska³, R. P. Panchyshyn³

¹ Ukrainian Industrial Telecommunications LLC, Lviv, Ukraine

² IP Liskevych Oleh Ihorovych, Lviv, Ukraine

³ Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

IMPROVED ALGORITHM FOR THE PACKET ROUTING IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

Packet routing efficiency is and will remain one of the major factors that have a major impact on a network performance and a quality of service. One of the most common routing protocols used in autonomous Internet systems is the Open Shortest Path First (OSPF) protocol. The OSPF protocol performs packet transmission using the shortest paths, calculated according to a certain, but only one criterion. Default criterion is channels bandwidth, but in general any criteria can be selected. The disadvantage here is that channels loading is not considered and thus packets are routed to a shortest but potentially overloaded path. In wider sense usage of single criteria may results in routing through paths suboptimal or even inappropriate by other criteria. The growth of the network traffic, and especially the increase of its multimedia component drives continuous improvement of routing methods in existing telecommunication networks. Network performance will benefit from more advanced routing methods, which would take into account several network characteristics, important for specific services quality. In given work a new algorithm of a gateway selection for the routing tables of autonomous Internet systems is proposed. The algorithm is based on the OSPF protocol but takes into account three criteria: channel bandwidth, the number of intermediate nodes in the path and the signal propagation delay. Weighting coefficient for each criteria is introduced. Besides that, the integral criterion is proposed based on optimal path weights for individual criteria and path weights found by two other criteria. The total relative deviation of the path weight from the path weights calculated according to individual criteria is used as the optimization criterion. The purpose of optimization is to minimize this deviation. Routing tables constructed using proposed algorithm ensure packets transmission through the optimal path, selected according to the integral criterion, taking into account the three criteria and their coefficients of importance. Further research may be conducted to expand the list of criteria used in the optimization process.

Keywords: computer network; open shortest path first; routing algorithm; routing table; gateway.

Інформація про авторів:

Ліскевич Ростислав Ігорович, канд. техн. наук, технічний директор. **Email:** Kvitoslava.M.Obelovska@lpnu.ua

Ліскевич Олег Ігорович, канд. техн. наук, IT-консультант. **Email:** Kvitoslava.M.Obelovska@lpnu.ua

Обельовська Квітослава Михайлівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: Kvitoslava.M.Obelovska@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8714-460X>; ResearcherID: [S-1336-2017](https://orcid.org/0000-0002-8714-460X)

Панчишин Роман Петрович, магістр, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** roma.panchyshyn@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Ліскевич Р. І., Ліскевич О. І., Обельовська К. М., Панчишин Р. П. Удосконалений алгоритм маршрутизації пакетів у телекомунікаційних мережах. Український журнал інформаційних технологій. 2021, т. 3, № 1. С. 114–119.

Citation APA: Liskevych, R. I., Liskevych, O. I., Obelovska, K. M., & Panchyshyn, R. P. (2021). Improved algorithm for the packet routing in telecommunication networks. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 3(1), 114–119.

<https://doi.org/10.23939/ujit2021.03.114>