

УДК 004.3

Н.А. Шевченко, Г.В. Шимчук, У.А. Гарматюк

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТРИК МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ IP-МЕРЕЖ

N.A. Shevchenko, G.V. Shymchuk, U.A. Harmatyuk

OPTIMIZING ROUTING METRICS TO ENSURE STABILITY AND RELIABILITY OF IP NETWORKS

Стійкість та надійність IP-мереж є ключовими характеристиками сучасних комунікаційних інфраструктур, що обслуговують критично важливі сервіси, як-от електронна комерція, медичні системи, індустрія розваг та інтернет речей (IoT). Одним із найбільш ефективних підходів для забезпечення цих характеристик є оптимізація метрик маршрутизації, що впливає на вибір маршруту та загальну продуктивність мережі.

Маршрутизація базується на визначенні оптимального шляху передачі даних через мережу. Для цього використовуються метрики — числові значення, що оцінюють якість маршруту. До найпоширеніших метрик належать:

- Довжина шляху (hop count) – кількість проміжних вузлів між джерелом і отримувачем.
- Пропускна здатність – максимальний обсяг даних, який може бути переданий по маршруту.
- Затримка (latency) – час передачі пакету від відправника до отримувача.
- Вартість зв'язку – залежить від економічних факторів чи пріоритету використання конкретних каналів.

Оптимізація метрик маршрутизації спрямована на вибір таких значень, які забезпечать баланс між продуктивністю, стійкістю до відмов і адаптивністю до змін у мережевих умовах.

Розглянемо методи оптимізації метрик, а зокрема:

- Мультикритеріальний підхід. Замість використання однієї метрики, застосовується їх комбінація. Наприклад, комбінація затримки та пропускну здатності дозволяє враховувати як швидкість доставки даних, так і доступні ресурси каналу.
- Динамічна маршрутизація. Метрики постійно оновлюються відповідно до змін у мережі (наприклад, перевантаження вузлів або відмова каналу). Протоколи на кшталт OSPF та EIGRP підтримують цей підхід.
- Інтелектуальні алгоритми. Використання алгоритмів машинного навчання для передбачення змін у мережі та динамічної адаптації метрик на основі аналізу історичних даних.
- Ієрархічна маршрутизація. Для великих мереж застосовується поділ на зони з оптимізацією метрик на локальному рівні, що зменшує обчислювальну складність.

Вплив оптимізації метрик на стійкість та надійність, залежить від:

- Зменшення часу відновлення. Оптимізовані метрики сприяють швидшому переключенню на альтернативний маршрут у разі відмови вузла або каналу зв'язку.
- Запобігання перевантаженням. Маршрутизація враховує поточну завантаженість вузлів і каналів, що дозволяє уникнути вузьких місць у мережі.
- Ізоляція зон відмови. Оптимальні маршрути мінімізують ймовірність розповсюдження проблем із сегменту на всю мережу.
- Підвищення якості обслуговування (QoS). Забезпечується стабільний рівень продуктивності навіть під час пікових навантажень.

Оптимізація метрик маршрутизації є актуальною для таких протоколів, як OSPF, IS-IS, BGP, а також у сценаріях використання мультипротокольної маршрутизації (MPLS). Результати

моделювання в сучасних дослідженнях показали, що адаптивна маршрутизація із застосуванням оптимізованих метрик знижує ймовірність відмов на 30–50% і покращує швидкість відновлення мережі після збою на 40%.

В останні роки у сфері оптимізації метрик маршрутизації активно впроваджуються сучасні інструменти, які враховують не лише технічні параметри мережі, а й зовнішні фактори, такі як енергоспоживання та екологічність роботи інфраструктури. Розглянемо на прикладі таких інструментів:

1. Контекстуальна маршрутизація – цей підхід базується на використанні додаткових контекстуальних даних, таких як тип трафіку (відео, голос, IoT), пріоритетність передачі та політика організації. Наприклад, у корпоративних мережах може бути пріоритетним забезпечення низької затримки для відеоконференцій, тоді як у дата-центрах важливішою є пропускна здатність.

2. Інтеграція з SDN – програмно-визначені мережі (SDN) дозволяють централізовано управляти маршрутизацією, динамічно змінюючи метрики в реальному часі. Контролер SDN може аналізувати стан мережі та передбачати потенційні точки відмови, адаптуючи маршрути відповідно до змін умов.

3. Використання алгоритмів штучного інтелекту. Машинне навчання та штучний інтелект знаходять застосування в прогнозуванні перевантажень, аналізі журналів мережевого трафіку та автоматичній оптимізації метрик. Наприклад, нейронні мережі можуть бути використані для побудови моделей, які визначають оптимальні маршрути в умовах змінного трафіку.

4. Енергетична ефективність. Для великих мереж із значною кількістю вузлів важливим фактором є мінімізація споживання енергії. Оптимізація метрик може бути спрямована на зменшення використання енергії шляхом вибору маршрутів, що споживають менше ресурсів, наприклад, за рахунок зменшення кількості активних проміжних вузлів.

Поглиблена оптимізація метрик маршрутизації стає особливо актуальною в умовах зростання вимог до масштабованості та адаптивності мереж. Зростання популярності хмарних технологій, віртуалізації мережевих функцій (NFV) та IoT відкриває нові можливості для використання адаптивних алгоритмів маршрутизації.

Оптимізація метрик маршрутизації є необхідною умовою для побудови надійних IP-мереж, здатних адаптуватися до змін і забезпечувати високий рівень обслуговування. Подальший розвиток методів оптимізації, включаючи використання штучного інтелекту, дозволить створювати ще більш ефективні системи маршрутизації, що відповідають вимогам сучасних і майбутніх мереж.

Інноваційні підходи до оптимізації метрик маршрутизації є ключовими для забезпечення стійкості, надійності та адаптивності сучасних IP-мереж. Їх реалізація дозволяє не лише ефективно вирішувати поточні завдання, а й готувати мережеву інфраструктуру до майбутніх викликів, таких як зростання кількості підключень, потреба в низьких затримках та підвищена важливість енергозбереження.

Література

1. Li Y., Johnson M. Integration of NFV and VRF for Modern Network Architectures // IEEE Xplore. — 2019. — Vol. 7. — P. 123–134.
2. Gupta R., Singh S. SD-WAN with VRF: Enhancing Multi-Tenant Network Resilience // Springer Journal of Networking. — 2021. — Vol. 12, No. 4. — P. 89–102.