

УДК 004.85

*Івченко О.В., к.т.н., доцент,
Бочаров П.І., здобувач,
Черкаський державний технологічний університет*

АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ДИНАМІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ В МЕРЕЖАХ З ВЕЛИКОЮ КІЛЬКІСТЮ ВУЗЛІВ

Сучасні IP-мережі (хмарні сервіси, IoT) стрімко зростають за розміром і складністю, що висуває жорсткі вимоги до пропускної здатності, надійності та затримки. Традиційні алгоритми маршрутизації (RIP, OSPF) у великих мережах демонструють обмеження: погіршується час конвергенції, зростає обсяг службового трафіку та вимоги до ресурсів маршрутизаторів [1]. Дослідження присвячене системній оцінці цих обмежень та розробці практичних методів оптимізації, зокрема шляхом впровадження Segment Routing, Fast Reroute та елементів машинного навчання.

В роботі проведений комплексний аналіз ефективності існуючих алгоритмів динамічної маршрутизації (OSPF, EIGRP, RIP, BGP) у великих IP-мережах, виявленню їхніх обмежень при масштабуванні та розробці практичних методів оптимізації з метою підвищення швидкодії, надійності й ефективності використання ресурсів мережі.

Об'єктом дослідження в роботі є процес маршрутизації даних у великих IP-мережах. Предмет дослідження – алгоритми динамічної маршрутизації (OSPF, EIGRP, RIP, BGP) та методи їхньої оптимізації з урахуванням масштабованості та часу конвергенції. Для дослідження використано аналітичні методи, математичне та експериментальне моделювання. Експерименти проводилися у симуляційному середовищі Cisco Packet Tracer, де були побудовані тестові топології на 50, 200 та 1000 вузлів.

Основні результати та наукова новизна

1. Порівняльний аналіз протоколів. Проведено порівняльне дослідження поведінки алгоритмів Link State (OSPF, IS-IS), Distance Vector (RIP) та Hybrid (EIGRP) у залежності від масштабу мережі. Виявлено, що для топологій до 50 вузлів прийнятний RIP, для 200–500 вузлів оптимальними є OSPF та EIGRP, а для 1000+ вузлів необхідні ієрархічні підходи (IS-IS, BGP)[2].

2. Оптимізація таблиць маршрутизації. Удосконалено підхід до побудови ієрархічної маршрутизації (OSPF multi-area) з використанням агрегації маршрутів. Моделювання показало, що такий підхід забезпечує скорочення обсягу таблиць маршрутизації на 60–85% на

маршрутизаторах ядра в мережі на 1000 вузлів, знижуючи навантаження на обчислювальні ресурси.

3. Підвищення відмовостійкості (Fast Reroute). Доведено ефективність застосування технології Fast Reroute (FRR), зокрема механізму Loop-Free Alternate (LFA). Експерименти показали, що FRR дозволяє зменшити час відновлення зв'язності після відмови лінка до < 50 мс (порівняно з 4–6 с без FRR), що є критично важливим для сервісів реального часу.

4. Впровадження Segment Routing (SR). Розроблено концептуальну модель використання Segment Routing (SR-MPLS) як сучасного методу оптимізації. SR-MPLS забезпечує централізоване керування потоками. Моделювання показало, що SR призводить до зменшення розміру таблиць маршрутів на 76% та зниження середньої затримки на 55% завдяки мінімізації стану в проміжних вузлах.

Отримані результати та розроблені рекомендації можуть бути використані при проектуванні та оптимізації мереж великого масштабу (корпоративних, операторських). Розроблені лістинги конфігурацій (RIP, OSPF, IS-IS, EIGRP, BGP, FRR, SR-MPLS) можуть бути застосовані для лабораторних робіт та практичних занять зі спеціальності «Кібербезпека та захист інформації».

На основі аналізу встановлено, що корпоративним мережам (середнього/великого масштабу) рекомендується використовувати OSPF multi-area у поєднанні з Fast Reroute (FRR) для забезпечення відновлення зв'язку менш ніж за 50 мс, операторським мережам (великі магістралі) рекомендується впроваджувати Segment Routing (SR-MPLS / SRv6), інтегруючи його зі SDN-контролерами та ML-прогнозуванням для досягнення максимальної масштабованості та адаптивного управління трафіком.

У роботі отримано нові наукові результати, що підтверджують можливість підвищення ефективності динамічної маршрутизації у масштабних мережах за рахунок комбінування ієрархічної структури, технологій Fast Reroute, Segment Routing та SDN-контролю, скорочуючи час конвергенції та зменшуючи навантаження на мережеві ресурси.

Список використаних джерел:

1. Байда С. В., Соловійов І. В. Маршрутизація в комп'ютерних мережах: теорія та практика. Київ : Ліра-К, 2021.
2. Rekhter Y., Li T., Hares S. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4) : RFC 4271. IETF, 2006. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4271>