

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ IP FAST REROUTE ТА MPLS FAST REROUTE: ПЕРЕВАГИ ТА ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ

Кирилов Є. І.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра інфокомунікаційної інженерії ім.В.В.Поповського,
Україна.

E-mail: yehor.kyrylov@nure.ua

Abstract

Fast Reroute (FRR) mechanisms play a critical role in ensuring high availability of modern telecommunication networks. This paper presents a comparative analysis of IP Fast Reroute (IP-FRR) operating at the network layer and MPLS Fast Reroute (MPLS-FRR) operating at the data link layer. Both approaches enable rapid traffic recovery during failures, but differ significantly in implementation principles, performance characteristics, and deployment complexity. Results indicate that the choice between mechanisms should be based on network architecture, reliability requirements, and operator resources.

Забезпечення високої надійності є однією з ключових вимог до сучасних інфокомунікаційних мереж (ІКМ). За статистикою операторів зв'язку, навіть короточасні перерви у роботі мережі можуть призводити до значних фінансових втрат та погіршення якості обслуговування (QoS). Механізми швидкої перемаршрутизації (FRR) дозволяють мінімізувати час відновлення зв'язку при відмовах мережних елементів [1].

Існують два основні підходи до реалізації FRR: на мережному рівні (IP Fast Reroute) та на рівні MPLS (MPLS Fast Reroute). IP-FRR включає механізми Loop-Free Alternate (LFA), Remote LFA та Topology-Independent LFA, які працюють у площині протоколів маршрутизації (OSPF, IS-IS). MPLS-FRR реалізується за допомогою розширень RSVP-TE та включає два методи: One-to-One Backup та Facility Backup [2, 3].

IP Fast Reroute базується на попередньому розрахунку альтернативних шляхів протоколами IGP (Interior Gateway Protocol). Маршрутизатор обчислює резервний шлях до кожного призначення через альтернативного сусіда, використовуючи критерій loop-free, який гарантує відсутність петель маршрутизації. Математично умова loop-free для базового LFA записується як [3]:

$$Distance(N, D) < Distance(N, E) + Distance(E, D) \quad (1)$$

де N – альтернативний сусід, E – точка відмови, D – пункт призначення

При відмові основного каналу маршрутизатор негайно перемикає трафік на попередньо обчислений резервний шлях без очікування глобальної конвергенції мережі. Це дозволяє зменшити час відновлення з декількох секунд до десятків мілісекунд. Основні переваги IP-FRR це простота конфігурації, відсутність потреби у додатковій інфраструктурі, низькі вимоги до ресурсів маршрутизаторів. Однак IP-FRR має суттєві обмеження, оскільки базовий LFA не завжди знаходить альтернативні шляхи, Remote LFA потребує підтримки MPLS LDP, а масштабування у великих мережах є складним.

MPLS Fast Reroute працює на рівні MPLS та використовує протокол резервування ресурсів RSVP-TE (Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering) для створення резервних LSP (Label Switched Path). Існують два основні методи MPLS-FRR – facility backup та one-to-one backup [2].

Метод One-to-One Backup – для кожного основного LSP створюється окремий резервний LSP, який обходить захищений елемент (канал або вузол). Цей метод забезпечує найвищу гнучкість, оскільки дозволяє резервувати ресурси під час встановлення резервного шляху. Однак він потребує значних ресурсів при великій кількості LSP у мережі, оскільки кількість резервних тунелів може дорівнювати кількості основних LSP.

Facility Backup – створюється спільний резервний тунель (bypass LSP), який може захищати кілька основних LSP одночасно. Маршрутизатор перемикає всі LSP, що проходять через відмовлений елемент, на один bypass-тунель. Цей метод більш масштабований і потребує меншої кількості резервних тунелів, але менш гнучкий у плані резервування ресурсів.

Перевагами MPLS-FRR є високе охоплення топологій завдяки можливості явного прокладання обхідного шляху за допомогою RSVP-TE, можливість резервування ресурсів для гарантування QoS, швидке переключення завдяки механізму label switching, підтримка захисту як каналів, так і вузлів. Недоліками є складність конфігурації, високі вимоги до ресурсів маршрутизаторів та необхідність підтримки MPLS у всій мережі. Порівняння двох механізмів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика IP-FRR та MPLS-FRR

Критерій	IP Fast Reroute (LFA/rLFA)	MPLS Fast Reroute
Час переключення	< 50 мс	< 50 мс
Охоплення топологій	50-95% (залежить від топології)	90-100% (залежить від ресурсів та політик TE)
Складність конфігурації	Низька-Середня	Висока
Вимоги до інфраструктури	Тільки IGP (OSPF/IS-IS)	MPLS + RSVP-TE + IGP
Масштабованість	Висока (в малих/середніх мережах)	Середня (обмежена кількістю LSP)
Вимоги до пам'яті	Низькі-Середні	Високі

На підставі проведеного аналізу встановлено, що IP Fast Reroute та MPLS Fast Reroute є ефективними, але принципово різними підходами до забезпечення швидкої перемаршрутизації у телекомунікаційних мережах. IP-FRR працює на мережному рівні, забезпечує простоту впровадження та низькі вимоги до ресурсів, але має обмежене охоплення топологій (50-95% залежно топології). MPLS-FRR працює на рівні MPLS, гарантує 90-100% (залежить від ресурсів та політик TE) охоплення, але потребує складної конфігурації та значних ресурсів маршрутизаторів.

Вибір між механізмами повинен базуватись на комплексному аналізі вимог до надійності, наявної інфраструктури, ресурсів обладнання та кваліфікації персоналу. Для більшості корпоративних мереж та мереж рівня доступу операторів зв'язку оптимальним вибором є IP-FRR, тоді як для магістральних мереж з високими вимогами до SLA рекомендується MPLS-FRR.

Література

1. Rak J. Resilient Routing in Communication Networks (Computer Communications and Networks), 1st edition. Springer, 2015. 181 p.
2. Atlas A., Swallow G., Pan P., Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP Tunnels. 2005.
3. Atlas A., Zinin A., Basic Specification for IP Fast Reroute: Loop-Free Alternates. 2008.
4. Cisco., Understand LFA and Remote LFA IP Fast Reroute: вебсайт. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/multiprotocol-label-switching-mpls/ldp/212697-loop-free-alternate-and-remote-loop-free.html>.
5. Cisco, MPLS Traffic Engineering Path Link and Node Protection Configuration Guide. URL: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/mp_te_path_protect/configuration/xr-16-11/mp-te-path-protect-xr-16-11-book/mpls-traffic-engineering-fast-reroute-link-and-node-protection.html.