

МЕХАНІЗМИ ШВИДКОЇ ПЕРЕМАРШРУТИЗАЦІЇ В IP-МЕРЕЖАХ

Харківський національний університет радіоелектроніки

Анотація

Досліджено механізми швидкої перемаршрутизації в IP-мережах. Розглянуто принципи роботи та особливості основних технологій. Проведено порівняльний аналіз їхніх часових характеристик, рівня покриття відмов, вимог до топології та залежності від протоколів маршрутизації.

Ключові слова: IP FRR, швидка перемаршрутизація, відмовостійкість, маршрутизація.

Abstract

Investigate fast reroute mechanisms in IP networks. The principles of operation and features of the main technologies are considered. Their performance in terms of convergence time, fault coverage, and topological requirements is compared. The study defines the advantages and limitations of each mechanism and outlines the conditions for their practical application in different network environments.

Keywords: IP FRR, fast rerouting, reliability, fault tolerance, routing.

У сучасних інфокомунікаційних мережах забезпечення безперервності передавання даних є ключовою вимогою до якості сервісів реального часу. Для досягнення високої відмовостійкості використовуються механізми fast reroute [1], які дозволяють миттєво перенаправляти трафік при відмові вузлів або каналів без очікування повної конвергенції протоколів маршрутизації.

Одним із базових механізмів IP FRR є Loop-Free Alternate, стандартизований у RFC 5286. Його принцип дії полягає у попередньому обчисленні альтернативного маршруту, який відповідає умові відсутності петель. У разі збою основного каналу маршрутизатор миттєво перенаправляє трафік через заздалегідь обчисленого сусіда (LFA-вузол), що забезпечує час перемикавання менше 50 мс [2]. LFA простий у реалізації, проте забезпечує лише часткове покриття топологій.

Для підвищення рівня захисту застосовується механізм maximally redundant trees, який забезпечує побудову двох остовних дерев – синього та червоного з максимально розділеними маршрутами. Це дозволяє мінімізувати спільні точки відмови та гарантувати відновлення зв'язку при будь-яких одиничних відмовах [3]. MRT забезпечує повне покриття, проте вимагає значних обчислювальних ресурсів та складної конфігурації.

Технологія equal-cost multi-path використовує множину рівноцінних маршрутів до однієї точки призначення. Завдяки хешуванню потоків даних досягається балансування навантаження і підвищується надійність. ECMP дозволяє одночасно використовувати декілька активних шляхів, забезпечуючи миттєве перемикавання у разі відмови. Разом з тим, її ефективність залежить від рівномірності хешування і підтримується лише для маршрутів з однаковою метрикою [4].

Особливе місце серед механізмів FRR займає EIGRP Fast Reroute, який базується на алгоритмі diffusing update algorithm. Цей підхід використовує попередньо обчислені резервні маршрути – feasible successors, що дозволяє досягати часу перемикавання менше 50 мс без перерахунку таблиць маршрутизації [5]. Умова feasibility condition гарантує відсутність петель при переході на резервний маршрут.

Порівняльний аналіз показує, що всі розглянуті механізми забезпечують час відновлення менше 50 мс, проте різняться рівнем покриття та вимогами до топології. LFA доцільно застосовувати у мережах із помірною зв'язністю, MRT – для критичних систем з необхідністю повного захисту, ECMP – у дата-центрах із задачами балансування навантаження, а EIGRP FRR – у Cisco-орієнтованих мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shand M. RFC5714: IP Fast Reroute Framework [Електронний ресурс] / Mike Shand, Stewart Bryant. – Режим доступу: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5714>.
2. Atlas A. RFC 5286: Basic Specification for IP Fast Reroute: Loop-Free Alternates [Електронний ресурс] / Alia Atlas, Alex Zinin. –

Режим доступу: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5286>.

3. Envedi G. RFC 7811: An Algorithm for Computing IP/LDP Fast Reroute Using Maximally Redundant Trees (MRT-FRR) [Електронний ресурс] / Gabor Envedi [та ін.] – Режим доступу: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7811>
4. Palo Alto Networks. PAN-OS Networking Administrator's Guide [Електронний ресурс] / Palo Alto Networks. – Режим доступу: <https://www.juniper.net/documentation/us/en/software/junos/flow-packet-processing/topics/topic-map/security-ecmp-flow-based-forwarding.html>.
5. Cisco. IP Routing: EIGRP Configuration Guide, Cisco IOS XE Fuji 16.8.x [Електронний ресурс] / Cisco – Режим доступу: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/iproute_eigrp/configuration/xe-16-7/ire-xe-16-8-book/ire-ipfrr.pdf

Кирилов Єгор Іванович – студент Харківського національного університету радіоелектроніки, факультет Інфокомунікацій, кафедра Інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського, група ІКІм-24-1, м. Харків, e-mail: yehor.kyrylov@nure.ua

Науковий керівник: Лемешко Олександр Віталійович – професор, доктор технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, факультет Інфокомунікацій, кафедра Інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського, група ІКІм-24-1, м. Харків

Yehor Kyrylov – student of the Kharkiv National University of Radio Electronics, Faculty of Infocommunications, Department of Information and Communication Engineering named after V. V. Popovskiy, group IKIm-24-1, Kharkiv, e-mail: yehor.kyrylov@nure.ua

Scientific supervisor: Oleksandr Lemeshko – professor, Doctor of Technical Sciences, Kharkiv National University of Radio Electronics, Faculty of Infocommunications, Department of Information and Communication Engineering named after V. V. Popovskiy, Kharkiv