

УДК 004.7:519

С. М. Захарченко¹, К. І. Шевчук¹

МЕТОД ВДОСКОНАЛЕННЯ ОДНОШЛЯХОВИХ ПРОТОКОЛІВ ДИНАМІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація. Розглядаються сучасні протоколи динамічної маршрутизації, принципи їх функціонування та способи призначення метрики зв'язків, визначено, що більшість з них є одношляховими, обирають один маршрут з мінімальною метрикою або здійснюють балансування між маршрутами з однаковою метрикою. Як результат функціонування мережі у такий спосіб спричиняє максимальне використання знайденого найкращого або альтернативного шляху, їх перевантаження, в той час як інші вузли (ресурси) мережі не задіяні при передачі трафіку. Оскільки подібне рішення є характерним для всіх одношляхових протоколів, впровадження змін безпосередньо в самому протоколі є нерациональним. Вирішення цієї проблеми можливо здійснити через структурні зміни в мережі, а саме модифікацію процесу маршрутизації, скомбінувавши найкращі особливості розподіленого та централізованого способів маршрутизації. Протоколи маршрутизації продовжують працювати за розподіленим принципом – кожен маршрутизатор самостійно будує таблиці маршрутизації на основі інформації, що отримана від інших маршрутизаторів. Після впровадження в мережу централізованого контролера маршрутизації, від всіх маршрутизаторів періодично надходить інформація про їх функціональний стан. Контролер при виникненні потреби через протокол SNMP вносить зміни в параметри маршрутизатора з подальшою зміною таблиць маршрутизації, а модуль керування проводить аналіз та розрахунки для ініціювання змін.

Ключові слова: трафік, протокол, динамічна маршрутизація, метрика, контролер, модуль керування, балансування, альтернативні маршрути, оптимізація потоку.

Аннотация. Рассматриваются современные протоколы динамической маршрутизации, принцип их функционирования и способы назначения метрики связей, определено, что большинство из них являются однопутевыми, выбирают один маршрут с минимальной метрикой или осуществляют балансировку между маршрутами с одинаковой метрикой. Функционирование сети таким образом вызывает максимальное использование найденного лучшего или альтернативного пути и его перегрузки, в то время как другие узлы (ресурсы) сети не задействованы при передаче трафика. Поскольку подобное решение характерно для всех однопутевых протоколов, внедрение изменений непосредственно в самом протоколе является нерациональным. Решение этой проблемы возможно осуществить через структурные изменения в сети, а именно модификацию процесса маршрутизации, скомбинировав лучшие особенности распределенного и централизованного способов маршрутизации. Протоколы маршрутизации продолжают работу по распределенному принципу - каждый маршрутизатор самостоятельно строит таблицы маршрутизации на основе информации, полученной от других маршрутизаторов. После внедрения в сеть централизованного контролера маршрутизации, от всех маршрутизаторов периодически поступает информация об их функциональном состоянии. Контроллер при возникновении потребности через протокол SNMP вносит изменения в параметры маршрутизатора с последующим изменением таблиц маршрутизации, а модуль управления проводит анализ и расчеты для инициирования изменений.

Ключевые слова: трафик, протокол, динамическая маршрутизация, метрика, контроллер, модуль управления, балансирование, альтернативные маршруты, оптимизация потока.

Abstract. The modern protocols of dynamic routing, the principle of their functioning and methods of assigning a link metric are considered, it is determined that most of them are one-way, choose one route with a minimum metric or carry out balancing between routes with the same metric. As a result, the network operation in this way causes the maximum use of the best or alternative path found, their overload, while other nodes (resources) of the network are not involved in the transmission of traffic. Since such a decision is necessary for all one-way protocols, the introduction of changes directly to the protocol itself is not rational. The solution to this problem may be due to structural changes in the network, namely the modification of the routing process, combining the best features of distributed and centralized routing methods. Routing protocols continue to work according to the distributed principle - each router independently builds routing tables based on information received from other routers. After the implementation of the centralized router controller, all routers will periodically receive information about their functional state. When required by the controller, the SNMP changes the router's parameters with the subsequent change of the routing tables, and the control module conducts the analysis and calculations to initiate the change.

Key words: traffic, protocol, dynamic routing, metric, controller, control module, balancing, alternative routes, stream optimization.
DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2018-42-2-16-25>.

Вступ

Протоколи маршрутизації визначають способи взаємодії маршрутизаторів та функціонують з метою визначення найкращих маршрутів при передачі трафіку між вузлами мережі. Із зростанням кількості користувачів, рівня важливості переданої інформації, специфіки умов експлуатації мереж, впровадження нових послуг, відбулися зміни у властивостях самих мереж передачі інформації. Актуальним став пошук нових підходів до розвитку мереж, і, що не менш важливо, з'явилась необхідність надати сучасним мережевим технологіям нових властивостей.

Для підвищення ефективності роботи мережі та підвищення якості надаваних послуг, виникла необхідність використовувати облік стану мережі [1]. В перспективі вирішення такої задачі можливо здійснити за умови розвитку та застосування методів розподілення інформації [2, 3]. Перевага розподілених алгоритмів в тому, що їх налаштування відбувається в одному часовому масштабі, і вони мають здатність швидко реагувати на зміни трафіку [4].

В роботі [5] проведено узагальнення та класифікація методів багатшляхової маршрутизації з урахуванням специфіки передачі трафіку по декільком шляхам, а також традиційних підходів до класифікації всіх алгоритмів маршрутизації. При аналізі методів маршрутизації є очевидним, що одношляхові

протоколи маршрутизації, які для пошуку найкоротшого шляху використовують класичні алгоритми Дейкстри, Беллмана-Форда, Шуурбале, не можливо використовувати як спосіб балансування навантаження (трафіку) в мережі, оскільки їх специфіка полягає у передачі трафіку по одному – найкращому маршруту. Крім того в більшості випадків шлях обираються без урахування поточного завантаження інших ресурсів мережі. Якщо найкоротший шлях уже перевантажений, то пакети всеодно надсилатимуться саме цим шляхом, що погіршуватиме ситуацію в мережі.

Алгоритми використання резервних каналів дозволяють використовувати окрім основного додатковий шлях для передачі трафіку. Реалізація ідеї виділення окремого резервного каналу розглянута у [6, 7] і відображає часткове вирішення проблеми одношляхових протоколів маршрутизації. Слід зазначити, що за наявності в мережі декількох альтернативних чи резервних маршрутів, трафік пропорційно розподіляється між ними, і навантаження на маршрутизатори та канали зв'язку розподіляються більш збалансовано. Проте такий підхід не завжди є доцільним, особливо тоді, коли такі маршрути не є повністю рівноцінними, тобто мають різну метрику.

Одним із найбільш перспективних способів керування трафіком в мережах є модель програмно-керованої мережі (SDN), яка передбачає розподіл функцій передачі трафіку і функцій керування, включаючи контроль як самого трафіку так і пристроїв, які здійснюють його передачу. Згідно концепції SDN, вся логіка керування розташована у контролерах, які здатні відслідковувати роботу всієї мережі за допомогою спеціальних протоколів (наприклад, OpenFlow), які оперують поняттям "потоки" (flow) і можуть здійснювати різні дії з ними (дозволяти, забороняти, перенаправляти, змінити поля в пакетах і т. д.). Перевагами програмно-керованої мережі є централізоване управління, спрощення обслуговування та модернізації мереж, скорочення часу на оновлення програмних кодів комутаторів/маршрутизаторів і впровадження нових сервісів. Однак є певні недоліки, пов'язані з архітектурою Open SDN та способами практичного впровадження таких мереж. Вважається, що ця технологія несе надто радикальні зміни в функціонування мереж [8]. Це виявляється в обов'язковому встановленні вартісного обладнання з підтримкою інтерфейсу OpenFlow. Найбільш серйозним недоліком функціонування програмно-керованої мережі за технологією SDN є вразливість такої мережі через існування однієї точки відмови, мається на увазі ті випадки, коли виходить з ладу контролер, мережа повністю втрачає працездатність. SDN функціонує за принципом централізованої маршрутизації. З метою усунення цього недоліку, необхідно впроваджувати в мережу декілька контролерів, котрі будуть взаємодіяти один з одним за допомогою надійних каналів зв'язку, що може значно ускладнити та збільшити у вартості архітектуру Open SDN.

Актуальність

Моделі багатошляхової маршрутизації з балансуванням навантаження (8) - (13), розглядаються як досить успішна реалізація принципів інжинірингу трафіку. Розподіл навантаження по великій кількості попередньо сформованих шляхів передачі даних між вузлами відправника та отримувача і є пріоритетнішим всіх завдань.

В мережі може виникати ситуація, коли загальний трафік, що передається по вибраному шляху, тимчасово перебільшує пропускну спроможність каналу, що обумовлено пульсуючим характером трафіку сучасних IP-мереж. Застосування технологій профілювання (policing) та формування (shaping) частково дозволяють вирішити проблему, однак передбачають відкидання частини пакетів, або затримку їх в буферній пам'яті. Більш ефективним шляхом уникнення перевантаження є поділ трафіку на частини і перенаправлення частини пакетів по інших шляхах.

Разом з тим, характер подій в мережі в певний часовий проміжок залежить від попередніх віддалених подій. Це означає, що при великих масштабах мережі трафік наділений властивостями подібності, тобто виглядає майже однаково при достатньо великих масштабах часового проміжку [14]. Це дозволяє певним чином прогнозувати події в мережі і приймати рішення заздалегіть.

Інший недолік багатошляхової маршрутизації полягає в тому, що максимальне покращення балансування по каналам зв'язку можливе не для всіх топологій мережі. Особливо критичним зниженням якості балансування відбувалось у мережах з неоднорідною топологією, представлених у вигляді розподіленого графа. Для мінімізації цього недоліку пропонується замінити централізоване керування методом маршрутизації «по підмережам», оскільки повна ефективність балансування трафіку напряму залежить від якості балансування у «вузьких місцях» мережі, особливо це стосується неоднорідних мереж у вигляді розподіленого графа [14].

Слід зауважити, що більшість досліджень, спрямованих на вирішення проблем при передачі інформації в мережах мають здебільше теоретичний характер, в той час як в сучасних мережах застосовується обмежений перелік протоколів маршрутизації, більшість з яких є одношляховими. Саме тому тематика статті, присвячена методу вдосконалення одношляхових протоколів динамічної маршрутизації є доцільною та актуальною.

Мета

Метою дослідження є покращення роботи сучасних мереж за рахунок зменшення затримки передачі трафіку шляхом модифікації процесу маршрутизації без внесення змін в існуючі протоколи динамічної маршрутизації.

Задачі

1. Проаналізувати сучасні протоколи динамічної маршрутизації та визначити потенційні шляхи покращення їх роботи.
2. Розробити комбінований розподілено-централізований протокол незалежний варіант динамічної маршрутизації.
3. Розробити алгоритм роботи контролера маршрутизації та модуля керування.
4. Оцінити результат роботи мережі після впровадження змін.

Аналітичний огляд методів динамічної маршрутизації

Для вирішення задачі підвищення якості передачі трафіку в мережі необхідно проаналізувати методи динамічної маршрутизації, їх функціональні особливості, основні переваги та недоліки з метою визначення ймовірних негативних явищ в мережі та методи впливу на них.

За способом маршрутизації мережі бувають з централізованою, децентралізованою та гібридною маршрутизацією.

Централізована маршрутизація реалізується за принципом вибору напрямку руху для кожного пакету центром управління мережею, а мережеві вузли лише сприймають та реалізують результати вирішення задачі маршрутизації. Перевагами такого способу є можливість обрати вузли прості за структурою, оскільки вони беруть мінімальну участь в процесі маршрутизації. Однак при збільшенні кількості вузлів зростає складність організації централізованого керування мережі передачі даних. Суттєвим недоліком централізованого керування є пряма залежність якості маршрутизації від надійності її центру керування, яка із збільшенням складності останнього має тенденцію до зниження. Крім того, центр керування мережі повинен мати оперативну інформацію про стан мережі, тому що вихід з ладу вузла або його перевантаження може спричинити втрату працездатності всієї мережі.

Розподілена або децентралізована маршрутизація виконується через розподіл функцій керування мережею між її вузлами. На основі збереженої керуючої інформації кожен вузол самостійно визначає напрямок передачі пакетів. Це підвищує структурну складність вузлів, однак мережа відзначається вищим рівнем працездатності, оскільки вихід з ладу будь-якого вузла не впливає на роботу мережі загалом.

Гібридна маршрутизація характеризується застосуванням принципів централізованої та розподіленої маршрутизації (наприклад, гібридна адаптивна маршрутизація). Адаптивна маршрутизація передбачає пристосування алгоритму маршрутизації до реального стану мережі. Недоліком методів адаптивної маршрутизації є складність прогнозування стану мережі.

За кількістю визначених маршрутів до одного адресата протоколи маршрутизації поділяють на одношляхові (single-path) та багатошляхові (multi-path). Одношляхові протоколи заносять до таблиці маршрутизації дані про єдиний оптимальний маршрут. Очевидним недоліком є нерівномірне навантаження мережі через максимальне завантаження оптимального маршруту. Багатошляхові протоколи вирізняються визначенням декількох оптимальних шляхів. Це дозволяє розпаралелити передачу трафіку і, як наслідок, збільшити надійність передавання даних та ефективність використання каналів зв'язку. Не зважаючи на очевидні переваги багатошляхових протоколів на сьогоднішній день в сучасних мережах застосовуються одношляхові, найбільш відомими з яких є OSPF та EIGRP.

OSPF (Open Shortest Path First) - це широко використовуваний протокол внутрішнього шлюзу (IGP), заснований на технології відстеження стану каналу (link-state technology) та пошуку найкоротшого шляху. Цей протокол здійснює маршрутизацію пакетів, збираючи інформацію про стан зв'язків з сусідніх маршрутизаторів і на підставі отриманої інформації будує карту мережі. Маршрутизатори OSPF надсилають багато типів службових повідомлень, включаючи повідомлення hello, запити на стан зв'язку, оновлення та опис бази даних. Пошук найкоротшого шляху здійснюється за алгоритмом Дейкстри. Для вибору найкращого маршруту OSPF використовує метрику (cost), яка за замовчуванням розраховується на основі смуги пропускання каналу.

Переваги передачі трафіку при застосуванні OSPF в тому, що зміни топології мережі відпрацьовуються дуже швидко. Головним недоліком протоколу OSPF є те, що завдяки використанню алгоритму Дейкстри визначається один найкращий маршрут, за яким і спрямовується увесь трафік. Це може призводити до перевантажень в IP-мережі і вимагає реалізації додаткових методів. Наприклад, в [14] пропонується використовувати в критерії розподілу залишкову пропускну здатність каналу.

EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) - дистанційно-векторний протокол динамічної маршрутизації, що був оптимізований для зменшення нестабільності протоколу після змін топології мережі, уникнення проблеми зациклення маршруту та більш ефективного і економного використання по-

тужностей маршрутизатора та пропускної спроможності ліній зв'язку. Композитна метрика, яка використовується для пошуку оптимального шляху, розраховується на основі пропускної здатності, навантаження, затримки та надійності. Це дозволяє підвищити якість вибору оптимального маршруту.

Основними перевагами EIGRP є: низьке споживання мережевих ресурсів за відсутності змін в топології (передаються тільки пакети "hello"); при виникненні змін по мережі передається тільки інформація про модифікації, які відбулись, що дозволяє зменшити навантаження на мережу та забезпечує малий час конвергенції (в окремих випадках збіжність забезпечується майже миттєво).

Поруч з перевагами сучасних протоколів динамічної маршрутизації, слід відзначити, що всі вони здійснюють пошук одного найкращого маршруту з мінімальною метрикою, тобто є одношляховими, або здійснюють балансування маршрутів у мережі з однаковою метрикою, що спричиняє максимальне використання знайденого найкращого або альтернативного шляху та його перевантаження, в той час як інші вузли (ресурси) мережі не будуть задіяні в процесі передачі трафіку. Такий підхід не дає можливості досягти стану повноцінної рівноваги, балансованого розподілу навантаження між всіма можливими альтернативними шляхами.

В протоколі EIGRP передбачено механізми реалізації багатшляхової маршрутизації зокрема за допомогою техніки балансування між шляхами з різною вартістю (unequal cost load balancing), однак він рідко застосовується, оскільки ускладнює процес налаштування. Крім того при розрахунку метрики в EIGRP за замовчуванням не використовуються такі динамічні параметри каналу як надійність і завантаженість, оскільки їх застосування призводить до постійних змін метрик і як наслідок перебудов маршрутів.

Виправити ситуацію через впровадження змін до конкретного протоколу є недоцільним, оскільки ця проблематика спостерігається в усіх протоколах динамічної маршрутизації, тому більш ефективним рішенням буде саме модифікація процесу маршрутизації без внесення змін в конкретний протокол маршрутизації. Такий варіант впливу дозволить універсально для всіх протоколів динамічної маршрутизації зменшити затримку передачі трафіку та збалансувати навантаження на мережу.

Принцип розподілено-централізованої маршрутизації з використанням контролера маршрутизації

Для успішного керування процесом маршрутизації необхідно знати стан кожного елемента мережі з можливістю змінювати параметри його функціонування. Зазвичай мережа складається з пристроїв різних виробників і здійснювати управління нею було б нелегким завданням, якби кожен з мережевих пристроїв розумів тільки свою систему команд. Саме тому було розроблено універсальний протокол управління мережевими ресурсами – SNMP (Simple Network Management Protocol).

SNMP реалізує такі функції:

- відправлення та прийом пакетів SNMP через протокол IP;
- збір інформації про статус і поточну конфігурацію мережевих пристроїв;
- зміна конфігурації мережевих пристроїв.

Крім управління пристроями SNMP використовують для моніторингу, оскільки він може отримувати різну інформацію від будь-яких мережевих пристроїв (маршрутизатор, комутатор або комп'ютер), в яких є підтримка даного протоколу. Вміст одержуваної інформації може бути різним, наприклад: час безперервної роботи, завантаженість центрального процесора, кількість пакетів в буфері маршрутизатора тощо.

Для вдосконалення роботи одношляхових протоколів маршрутизації пропонується здійснити структурні зміни в мережі, а саме модифікацію процесу маршрутизації шляхом впровадження в мережу централізованого контролера маршрутизації (рис. 1). Від всіх маршрутизаторів періодично або ситуативно надходить інформація про стан критичних параметрів. Контролер при виникненні потреби через протокол SNMP надсилає команди, що дозволяють внести зміни в параметри маршрутизатора, що, в свою чергу, впливає на маршрут проходження трафіку. Модуль керування виконує функцію допоміжного пристрою і в дуплексному режимі обмінюється інформацією з контролером. Функціонування модуля керування визначається різновидом протоколу маршрутизації а також вибраним способом впливу на трафік. Він проводить аналіз отриманих параметрів, розраховує порогові значення, необхідні зміни до метрик маршрутів, розмір завантаження буферу черги для перерозподілу тощо.

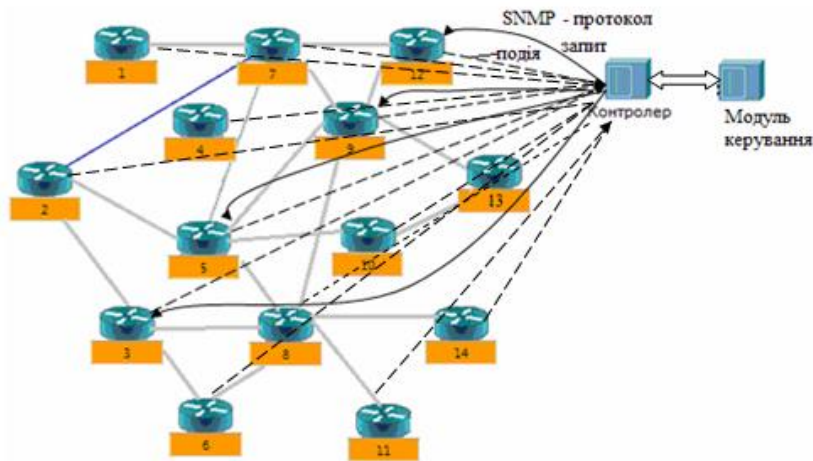


Рисунок 1 – Функціональна схема мережі після модифікації.

У випадку виходу з ладу контролера, маршрутизатори продовжують працювати автономно за допомогою протоколів динамічної маршрутизації, тобто недолік централізованого способу маршрутизації (втрата працездатності мережі через вихід з ладу центру управління) в модифікованому методі буде усунуто, як і недолік змішаного способу (складність прогнозування стану мережі), оскільки при працюючому контролері зміни виявляються миттєво через постійний моніторинг за допомогою протоколу SNMP.

Математична модель оцінювання якості процесу маршрутизації

Для оцінювання ефективності застосування запропонованого підходу скористаємось математичним апаратом систем масового обслуговування. Модель комп'ютерної мережі в цьому випадку складається з N -вузлів та L – каналів зв'язку. Трафік, що надходить в мережу створює пуассонівський потік з середнім значенням γ_{ij} (пакетів/сек) для пакетів, які надходять з вузла i до вузла j [16]. В такому випадку весь трафік буде визначатися як:

$$\gamma = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} \quad (1)$$

Кожен канал зв'язку складається з дуплексного каналу з пропускнуною спроможністю d_{tf} (байт/с), де t, f – канали зв'язку між вузлами t та f . Якщо зв'язок між вузлами t та f відсутній, то $d_{tf} = 0$.

Визначимо $x_{tf}^{(i,j)}$ - як частину потоку γ_{ij} , що передається по каналу t, f : $0 \leq x_{tf}^{(i,j)} \leq 1$

Тоді:

$$\lambda_{tf} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} \cdot x_{tf}^{(i,j)} \quad (2)$$

де λ_{tf} - величина потоку в каналі t, f (пакетів/сек), визначена потоком γ_{ij} .

Коефіцієнт завантаження каналу ρ визначається як відношення величини потоку в каналі λ_{tf} до μd_{tf} , де $\mu d_{tf} = d_{tf} / N_{\text{пак}}$, $N_{\text{пак}}$ - середній розмір пакету:

$$\rho = \frac{\lambda_{tf}}{\mu d_{tf}} \quad (3)$$

Визначимо Z_{ij} як середній час, що витрачається на передачу повідомлення, яке створено на вузлі i для передачу вузлу j (затримка повідомлення). Важливою характеристикою якості функціонування мережі передачі даних є середня затримка пакетів в мережі – T , яка визначається як зважена сума затримок пакетів - Z_{ij} :

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} \cdot Z_{ij} \quad (4)$$

Застосувавши до черг в мережі формулу Літтла, отримуємо: $T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^N \sum_{f=1}^N \lambda_{if} \cdot t_{if}$, де t_{if} - середній

час перебування повідомлення в каналі t, f . Оскільки отримання аналітичного значення t_{if} як і відповідно T не вбачається можливим, в такому випадку середній час перебування повідомлення в каналі t, f , що складається з часу передачі пакетів - $\frac{1}{\mu d_{if}}$ та часу очікування в черзі - W_{if} , визначається за формулою:

$$t_{if} = \frac{1}{\mu d_{if}} + W_{if}, \text{ де } W_{if} = \frac{1}{\mu d_{if}} \frac{\lambda_{if}}{\mu d_{if} - \lambda_{if}} \text{ тоді: } t_{if} = \frac{1}{\mu d_{if} - \lambda_{if}}.$$

Визначимо $f_{if} = \lambda_{if} / \mu$ - величина потоку в каналі t, f , виражена в байт/с. Тоді:

$$t_{if} = \frac{1}{\mu d_{if} - f_{if}}.$$

Враховуючи всі підстановки отримуємо вираз для середньої затримки пакетів в мережі:

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^N \sum_{f=1}^N \frac{f_{if}}{d_{if} - f_{if}} \quad (5)$$

Слід звернути увагу, що абсолютне значення, отримане за допомогою виразу (5) в загальному випадку не є вірним, оскільки не враховує низку особливостей передавання даних в сучасних мережах. З іншого боку цей вираз дає можливість досить просто порівняти між собою різні варіанти розподілення трафіку.

Узагальнений алгоритм роботи контролера маршрутизації та модуля керування.

На початку роботи контролер, на основі принципу роботи протоколу динамічної маршрутизації, наприклад OSPF, має зібрати всю інформацію про пристрої, якими буде здійснювати керування та наявність зв'язків між ними, побудувавши граф мережі. Перелік інформації, що збирається може відрізнитись для різних протоколів динамічної маршрутизації. Крім характерних параметрів, що розсилає той чи інший протокол динамічної маршрутизації через SNMP можуть бути запитані інші специфічні параметри, наприклад обсяги буферної пам'яті, значення MTU тощо.

На основі отриманої інформації формується граф мережі і визначаються параметри пристроїв, які в подальшому будуть аналізуватись та через які буде здійснюватись вплив на той чи інший мережевий пристрій. Зокрема має бути розрахована пропускна спроможність каналів d (байт/с), визначені критичні межі заповнення буферної пам'яті Q_{\min}, Q_{\max} та завантаження каналів ρ_{\min}, ρ_{\max} . Якщо вплив на вибір маршруту буде здійснюватись через вартості зв'язків, тоді необхідно визначити поточні метрики ліній - $Cost_R$ та максимальні метрики $Cost_{\max}$, які в подальшому будуть використовуватись для розвантаження проблемного шляху. Також слід визначити величини відновлюваних метрик $Cost_{re}$ - на етапі перепризначення максимального значення поточним метрикам, значення останніх повинні бути збережені та в подальшому відновлені, оскільки метрики змінюються тимчасово.

Для оцінювання рівня завантаженості окремих ділянок може бути використано коефіцієнт завантаженості каналу ρ , що визначається виразом (1.3) або рівень заповнення вхідних черг маршрутизатора Q . Межі порогових значень ρ та Q залежать від вимог до якості обслуговування, типу трафіку тощо та потребують додаткових досліджень. Використання двох порогових значень дозволить уникнути частих перестроєнь маршрутів: так перенаправлення трафіку на альтернативний маршрут буде виконуватись при досягненні ρ_{\max} на проблемній лінії, в той час як повернення до початкового варіанту при досягненні ρ_{\min} . Для фіксації проблемних ситуацій на кожному маршрутизаторі налаштовуються порогові значення завантаженості каналу або заповнення буфера черг, досягнення яких має ініціювати відповідне SNMP повідомлення (SNMP-trap). Отримавши SNMP-trap та знаючи поточний стан завантаженості інших каналів, контролер переспрямовує трафік на інший маршрут, якщо такий знайдено. Визначення можливості повернення до початкового стану може бути реалізовано шляхом періодичного опитування (SNMP-

GetRequest). Узагальнену граф-схему алгоритму роботи контролера та блоку керування наведено на рис.2.

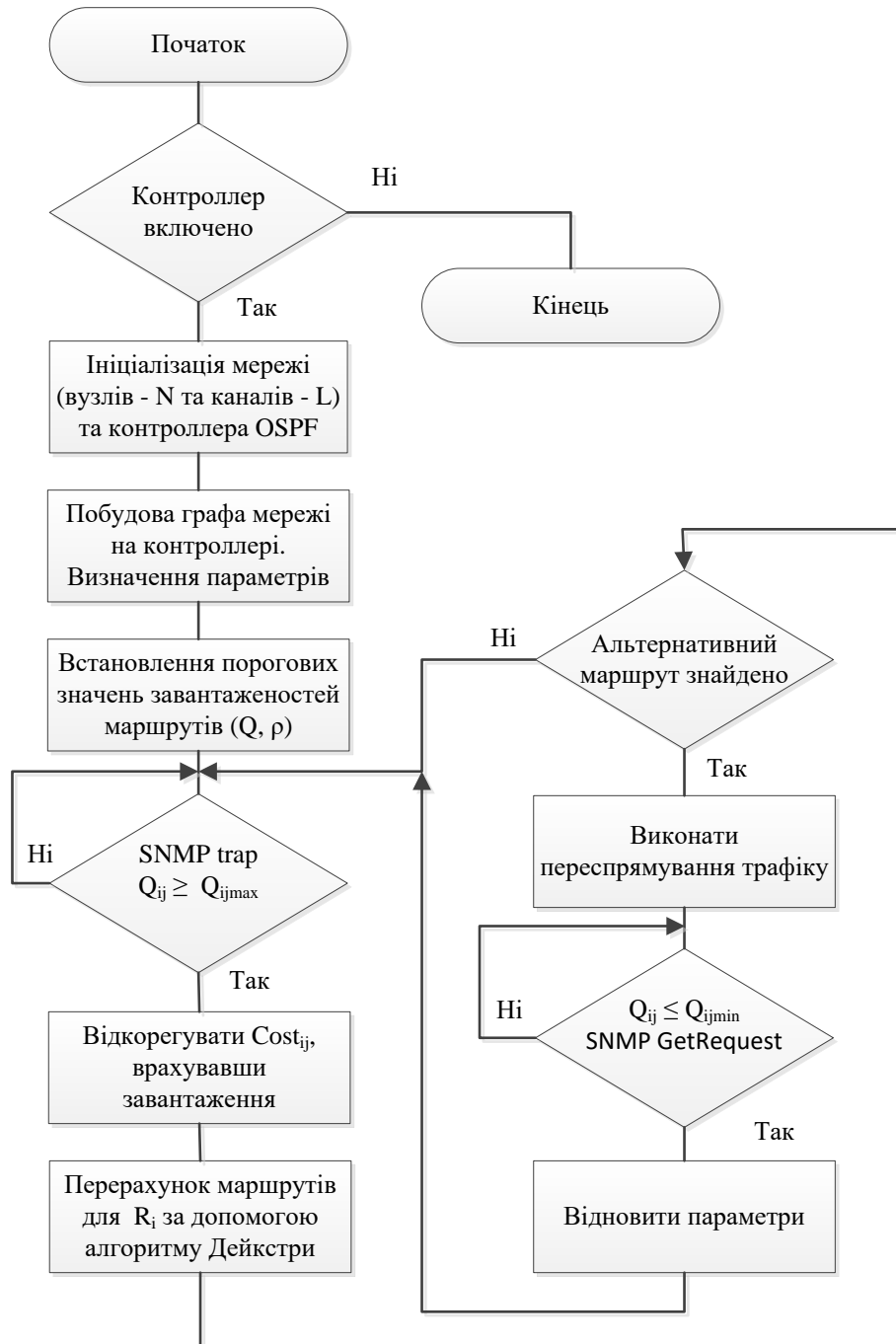


Рисунок 2 – Узагальнений алгоритм роботи контролера маршрутизації та модуля керування.

Оцінювання результатів застосування запропонованого методу

Розглянемо, як приклад, мережу наведену на рис. 3, яка складається з п'яти маршрутизаторів Ra, Rb, Rc, Rd та Re. Через мережу проходять два потоки трафіку: Ra-Rb-Rc – потік з постійною інтенсивністю 15 п/с та потік Ra-Rb-Rd-Re зі змінною інтенсивністю, яка зростає від 0 п/с до 210 п/с. Розмір пакету становить 1,5 КБ. Пропускні спроможності ліній зв'язку становлять: $d_{bc} = 2$ (МБ/с) та $d_{bd} = 2,5$ (МБ/с). Пропускні спроможності решти ліній будемо вважати значно більшими d_{bc} , що дозволить не враховувати їх в подальших розрахунках.

Припустимо, що на шляху Rb-Rd виникло перевантаження, Rb сповіщає контролеру маршрутизації про досягнення порогового рівня заповнення буферу черг Q_{\max} . Контролер перенаправляє частину трафіку, що перебільшує порогове значення на інший маршрут Rb-Rc. Решта потоку буде проходити через цей маршрут до тих пір, доки значення завантаження буферу черг не зменшиться до нижнього порогового рівня Q_{\min} . Отримавши відповідну інформацію контролер повертає решту потоку на маршрут Rb-Rd.

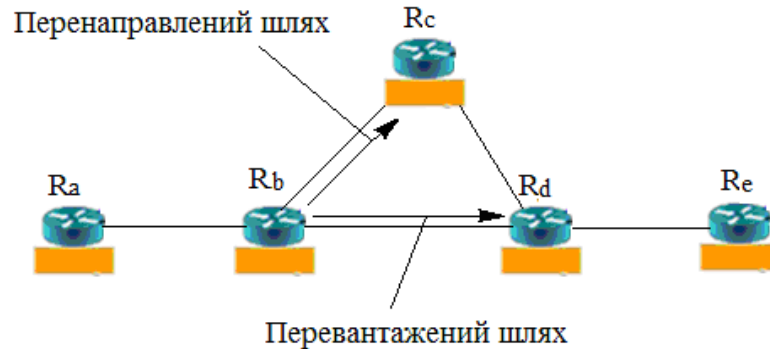


Рисунок 3 – Мережа з перевантаженим шляхом Rb-Rd

Розглянемо залежність середньої затримки передачі пакетів від інтенсивності потоку трафіку Ra-Rb-Rd-Re отриману на основі (1.5) і наведену на рис.4. Відповідно до протоколу маршрутизації OSPF для передавання потоку між маршрутизаторами Ra та Re буде вибрано маршрут Ra-Rb-Rd-Re, оскільки смуга пропускання лінії між Rb і Rd (2,5 МБ/с) більша за смугу між Rb і Rc (1,5 МБ/с). Крім того по маршруту Rb-Rc передається постійний трафік, який завантажує його приблизно на 15%.

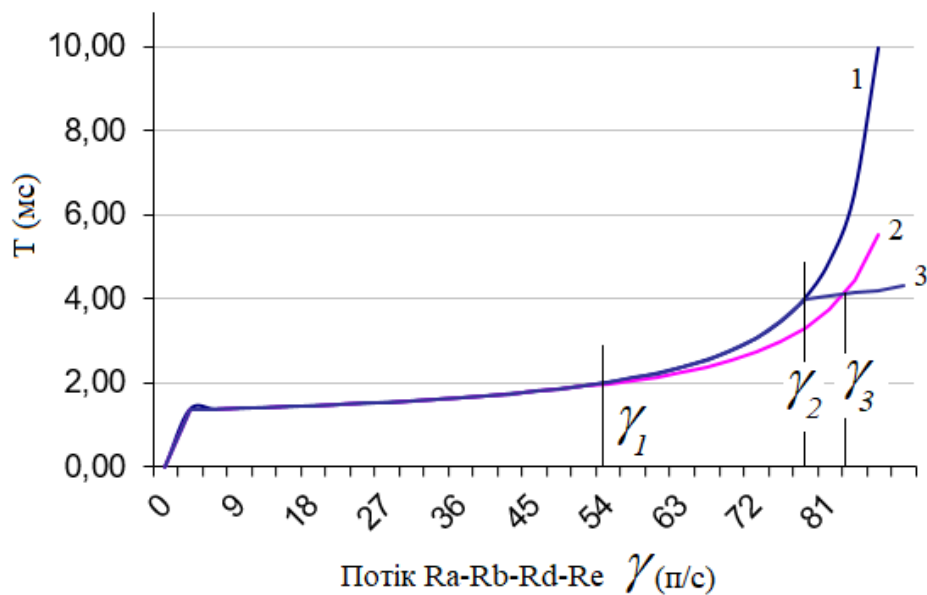


Рисунок 4 – Залежність середньої затримки передачі пакетів від значення потоку

При застосуванні класичного одношляхового підходу при зростанні трафіку Ra-Rb-Rd-Re середня затримка буде збільшуватись за експоненційним законом (лінія 1). Застосування запропонованого методу передбачає, що при досягненні певного ступеня завантаженості каналу Rb-Rd (на рис. 4 цей поріг досягається при значенні потоку γ_2), решта трафіку переспрямовується по маршруту Rb-Rc-Rd (лінія 3).

Вибір меншого порогу, наприклад γ_1 , при якому починається переспрямування трафіку (лінія 2), дозволить зменшити середню затримку порівняно з попереднім випадком, однак при подальшому зростанні потоку призведе до перевантаження лінії Rb-Rc і починаючи зі значення γ_3 середня затримка буде більшою. Слід відзначити, що вибір оптимальних порогових значень для переспрямування трафіку зале-

жить від загальної структури схеми, пропускних спроможностей ліній зв'язку та потоків трафіку що передаються в мережі і потребує додаткових досліджень.

Висновки

1. Проведено аналітичний огляд сучасних протоколів динамічної маршрутизації, який показав що більшість з них є одношляховими, тобто вибирають один маршрут з мінімальною метрикою, або здійснюють балансування між маршрутами з однаковою метрикою, що спричиняє максимальне використання знайденого маршруту, його перевантаження, в той час як інші ресурси мережі будуть в стані очікування - не задіяні в процесі передачі трафіку.
2. Запропоновано комбінований розподілено-централізований метод маршрутизації, який за рахунок внесення змін в процес маршрутизації дозволяє уникати ситуацій перевантаження каналів, обумовлених логікою роботи одношляхових протоколів і не потребує внесення змін в сучасні протоколи динамічної маршрутизації, що спрощує процес його впровадження в сучасних мережах.
3. Відповідно до запропонованого методу розроблено алгоритм балансування навантаження для випадків перевантаження окремих каналів, реалізація якого дозволить зменшити навантаження на перевантажені канали і мінімізувати середню затримку доставки даних в мережі.
4. Визначено основні структурні елементи мережі для реалізації запропонованого методу, до яких входять маршрутизатори з підтримкою сучасних протоколів динамічної маршрутизації та протоколу SNMP, SNMP контролер та блок керування, які реалізують запропонований алгоритм балансування навантаження.

Список літератури

- [1] Новиков О. П. Анализ эффективности методов маршрутизации видеoinформации в сетях интернет [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-metodov-marshrutizatsii-videoinformatsii-v-setyah-internet.pdf>.
- [2] Ю. П. Лукашин, *Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования*, М.: Статистика, 1979.
- [3] В. К. Морозов, и А. В. Долганов, *Основы теории информационных сетей*, М.: Высшая школа, 1987.
- [4] Ke Xu, Hongying Liu, Jiangchuan Liu, Jixiu Zhang, " LBMP: A Logarithm- Barrier-Based Multipath Protocol for Internet Traffic Management", IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS, VOL. 22, NO. 3, MARCH 2011.
- [5] Классификация методов многопутевой маршрутизации [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-metodov-mnogoputevoy-marshrutizatsii.pdf>.
- [6] Sheng Huang, Biswanath Mukherjee. Adaptive Reliable Multi Path Provisioning in WDM Networks. / in Proc. of IEEE ICC — Beijing, China, 2008. Pp. 5300-5304.
- [7] Lei Song, Biswanath Mukherjee. On the Study of Multiple Backups and Primary-Backup Link Sharing for Dynamic Service Provisioning in Survivable WDM Mesh Networks / IEEE Journal on selected areas in Telecommunication, 2008. Vol. 26, No6. pp. 84-91.
- [8] А. Х. Панеш, «Достоинства и недостатки программно-конфигурируемых компьютерных сетей» *Вестник АГУ*. № 3(186), 2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/dostoinstva-i-nedostatki-programmno-konfiguriruemyh-kompyuternyh-setey.pdf>
- [9] NGN: принципы построения и организации / под ред. Ю.Н. Чернышова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.
- [10] Y.2001. ITU-T. Recommendation Y.2001: General overview of NGN, ITU-T. – Geneva, 2004. – 18 p.
- [11] Вегенша Ш. *Качество обслуживания в сетях IP*. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 368 с.
- [12] Остерлох Х. *Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка*, СПб.: BHV, 2002. – 512 с.
- [13] Medhi D., Ramasamy K. Network routing: algorithms, protocols, and architectures. Morgan Kaufmann, 2007. – 788 p.
- [14] Ю. А. Кулаков, А. В. Коган, В. М. Храпов, «Способ конструирования трафика при организации многопутевой маршрутизации», *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка* – Вип. 65. – С. 28–33 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/22143>.
- [15] Том М. Томас П. Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF. Руководство Cisco = OSPF Network Design Solutions. — 2-е изд. — М.: «Вильямс», 2004. — с. 816
- [16] М. П. Березко, В. М. Вишневикий, Е. В. Левнер, Е. В. Федотов, «Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных», *Информационные процессы. Электронный научный журнал*, Том 1, № 2, стр. 103-125, 2001.

Стаття надійшла: 24.08.2018.

Відомості про авторів

Захарченко Сергій Михайлович – к. т. н, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет.

Шевчук Катерина Ігорівна – аспірантка кафедри обчислювальної техніки, Вінницького національного технічного університету.

S. M. Zakharchenko¹, K. I. Shevchuk¹

**METHOD FOR IMPROVEMENT OF DYNAMIC ROUTING
PROTOCOLS**

¹Vinnitsia National Technical University