

УДК 621.39 004.724

С.П. Пасько¹, О.О. Лаврут², А.В. Латуха¹, В.П. Пасько¹, А.В. Ермаков¹¹ Національний технічний університет України «КПІ», Київ² Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАМІНИ МАРШРУТИЗАТОРІВ В IP-МЕРЕЖІ НА ОБЛАДНАННЯ MPLS В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ НАВАНТАЖЕННЯ

Розглядається перехід від IP-мережі до MPLS без змін кабельної інфраструктури. В якості критерію доцільності заміни маршрутизаторів в IP-мережі на обладнання MPLS розглядається час затримки передачі пакетів. Виведені аналітичні залежності демонструють, що технологія MPLS в порівнянні з IP має низку переваг, які зростають з рівнем завантаженості мережі. Математичний апарат, наведений в статті, дозволяє провести границю демаркації по критерію часу доставки пакетів між транспортними мережами.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, IP-мережа, маршрутизація, MPLS технологія.

Вступ

Традиційними вимогами, що висуваються до технології сучасної магістральної мережі, є висока пропускна здатність, висока масштабованість та надійність. Однак сучасний стан ринку телекомунікацій висуває додаткові вимоги: користувачі бажають мати можливість організації віртуальних приватних мереж, доступу до різних інтегрованих сервісів мережі, тощо. Сьогодні все більшу популярність здобувають магістральні мережі на базі технології MPLS (Multiprotocol Label Switching). MPLS поєднує в собі масштабованість і гнучкість протоколів, які характерні для мережного рівня, і можливості управління трафіком (Traffic Engineering – TE), притаманні технологіям каналного рівня [1, 2].

Основний механізм TE в MPLS – використання однонаправлених тунелів (MPLS-тунелів) для завдання шляху проходження певного трафіку, механізми створення яких ґрунтуються на стекуванні (використання набору) міток. Технологія MPLS дозволяє підвищити швидкість обробки пакетів у порівнянні з технологією IP. Це досягається створенням LSP-тунелів між граничними маршрутизаторами магістральної мережі, де процес обробки пакетів і аналіз адресної інформації здійснюється з використанням спеціальних міток [3]. Досить інформативно і детально цю технологію MPLS описує Вібек Олвейн [4].

Технологію MPLS компанії-виробники рекомендують використовувати на магістральних (опорних) мережах. Проте, чітких критеріїв при яких дана технологія буде давати вигоди немає. MPLS дає можливості операторам/провайдерам надавати нові послуги; збільшити пропускну здатність мережі, без прокладання додаткових ліній; більш оптимально використовувати апаратні ресурси – обчислювальні потужності маршрутизаторів і пропускну здатність ліній зв'язку. Тому відбувається перехід (модерніза-

ція) існуючих мереж до даної технології. В статтях [5, 6] автори описують процес проходження пакетів в тунелі LDP (Label Distribution Protocol) та особливості організації VPN (Virtual Private Network). В [7, 8] технологію MPLS описують за допомогою спеціально створеного математичного апарату. Але, суттєвим недоліком цих робіт є значна складність математичного апарату, і, як наслідок, велика складність практичного використання.

Мета роботи – дослідити доцільність переходу в транспортних мережах IP на обладнання MPLS, тобто знайти області раціонального використання тієї чи іншої технології. В якості критерію виступає час мережевої затримки, який залежить від об'єму повідомлень (кількості пакетів), кількості транзитних вузлів, завантаженості мережі, розподілу трафіку в часі і прийнятої політики обслуговування.

Вихідні дані та допущення

У процесі розв'язку завдання передбачається використовувати ряд допущень: продуктивність вузлів і ліній на всіх ділянках мережі однакова й не залежить від часу; довжина пакета не залежить від типу й виду переданої інформації і є величиною постійною; незалежно від технології, що використовується, пакети одного повідомлення передаються шляхами, що мають однакову довжину й параметри обслуговування. В якості початкових даних візьмемо:

1) *Граф зв'язності IP-мережі*, рис. 1. На базі IP-мережі будується еквівалентний граф MPLS мережі зі збереженням інфраструктури кабелів (рис. 2).

Користувачі підключаються до LER-ів і «не бачать» ядра – LSR-ів. З точки зору користувачів MPLS виглядає як сукупність IP маршрутизаторів (LER-ів), які з'єднані за схемою кожен з кожним.

Оптимізація кількості LER-LSR – досить складна задача. Велика кількість LSR не є економічно вигідною і веде до збільшення часу доставки пакетів. За наявності вільної пропускної здатності ліній

зв'язку, їх можна розділити на логічні канали таким чином, щоб всі LER були підключені до мінімальної

кількості LSR, без зміни існуючої кабельної інфраструктури. Приклад такої оптимізації на рис. 3.

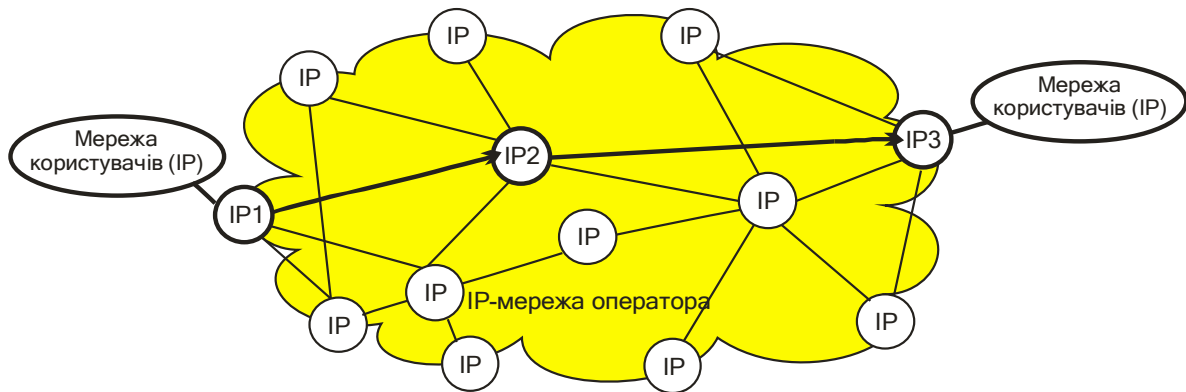


Рис. 1. Приклад IP-мережі: IP - маршрутизатори транспортної IP мережі оператора

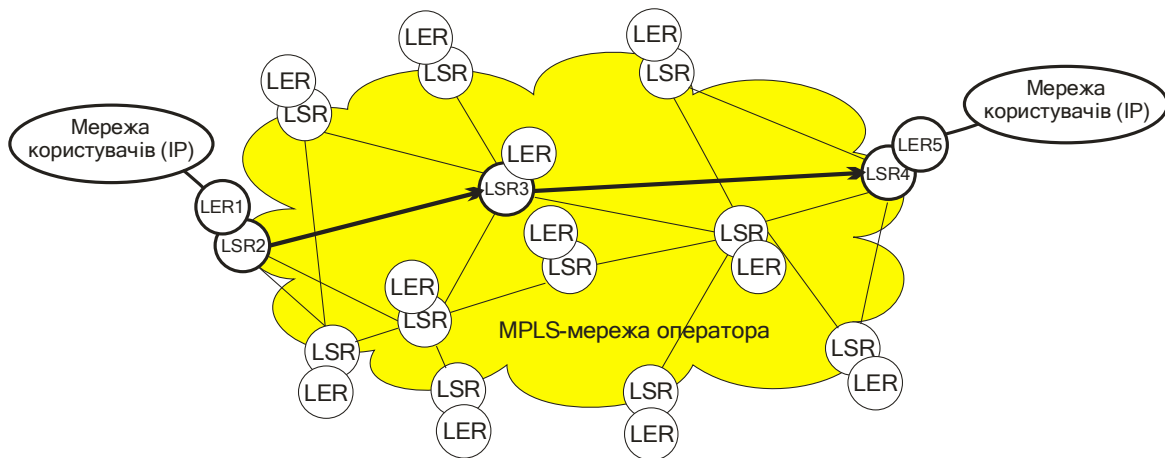


Рис. 2. MPLS-мережа, еквівалентна IP «LSR» – внутрішні маршрутизатори MPLS, «LER» – це граничні маршрутизатори MPLS

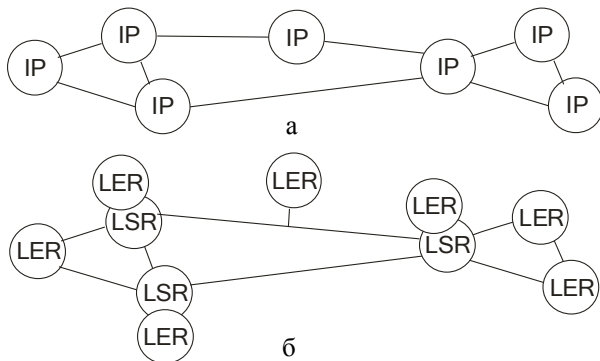


Рис. 3. а – IP-мережа, б – MPLS-мережа, еквівалентна IP-мережі

У нашому випадку розглядатимемо найгірший випадок за часом затримки – коли кожен IP маршрутизатор замінюється парою LSR+LER [7].

2) Дані про розподіл трафіку. Тобто скільки пакетів передавалось по лініях і напрямкам зв'язку, розподіл пакетів в часі. Дані цифри можуть бути взяті з систем моніторингу або/і прогностичних моделей поведінки користувачів.

3) Параметри маршрутизаторів – співвідношення між часом, який витрачається на операції

(наприклад, просування пакета в дейтаграмному режимі, заміна міток тощо).

Порівняльну оцінку ефективності технологій MPLS і IP пропонується провести за сумарним часом обробки пакетів на всіх вузлах трактів передачі. Як критерій переваги тієї або іншої технології буде використовуватися різниця часу доставки Δt повідомлення в мережах MPLS і IP. На ділянках мережі, де $\Delta t > 0$, доцільно використовувати протокол IP, а там де $\Delta t < 0$, доцільнішою буде технологія MPLS.

Детальний опис процесу оцінки одного каналу наведено в статті [9].

Врахування нерівномірності надходження навантаження

У зв'язку з тим, що процес навантаження в мережі підкоряється випадковому закону, то в певний момент часу ресурс мережі простоє, а в інший момент часу на маршрутизаторах виникають черги. Це приводить до появи додаткової складової часу затримки. Для спрощення розрахунків припустимо, що має місце аналітична модель системи масового обслуговування типу M/M/1. Кожний маршрутизатор можна описати за допомогою вхідного λ і вихідного μ пото-

ків. Відповідно при $\mu < \lambda$ виникають черги. Завантаження вузла дорівнює відношенню $\mu/\lambda = \rho$. Функція $\chi(\rho)$ - це функція, яка враховує величину завантаження вузлів. Її зміст полягає в тому, що при завантаженні мережі (вузла) рівному ρ , час передачі пакета збільшується в $\chi(\rho)$ раз.

Найпростіший її вигляд [5] $\chi(\rho) = 1/(1 - \rho)$, де ρ - завантаження маршрутизатора (лінії).

Оцінка ефективності організації тунелів за критерієм часу передачі повідомлень (метод SE)

В IP- і MPLS-мережах робота починається з формування найкоротших маршрутів і для обох видів мережі триває приблизно однаково. Тому вважаємо, що даний етап на оцінку ефективності організації тунелю не впливає. Для якісної оцінки часу прийемо, що пакети одного напрямку передаються тим же самим трактом. Тобто кількість транзитних вузлів N (ланцюгу із N вузлів IP-мережі відповідає ланцюг із $N+2$ вузлів MPLS-мережі за рахунок пар LSR+LER), кількість пакетів K , швидкодія маршрутизаторів і пропускна здатність однакові для обох випадків, $\chi(\rho)$ також (зазвичай це не так, в SE-тунелі значення ρ встановлюється невеликим, а при дейтаграмній передачі, може бути значним).

Здається допущення, що пакети в дейтаграмному режимі рухаються одним маршрутом, робить математичний апарат неадекватним. Про те, це не так. В реальних мережах основна маса пакетів одного повідомлення рухається одним маршрутом. Пакети, з певного повідомлення, що «випали» з основної маси практично всі рухаються рівнозначними за довжиною маршрутами. Так як в мережі одночасно функціонують всі напрямки зв'язку, а навантаження, що припадає в результаті дейтаграмного розподілу на ланки мережі, досить схоже на навантаження, яке б було отримано при передачі пакетів за принципом віртуальних каналів (які відповідають основним маршрутам). MPLS передає пакети за принципом віртуальних каналів, проте для максимально ефективного використання можливостей мережі, використовуються методи трафік інжинірингу. Трафік розділяється на класи обслуговування. Кожен клас може обслуговуватися окремо (для передачі повідомлень від користувача А до користувача Б може використовувати одночасно до 8-ми тунелів). Проте найчастіше рішення - це коли всі класи обслуговування одного напрямку рухаються одним тунелем, а сам клас обслуговування задає порядок в черзі на маршрутизаторі. При такому підході в добре спроектованій IP-мережі при заміні маршрутизаторів на обладнання MPLS, тунелі пройдуть тими ж самими маршрутами, що йшли IP-повідомлення. В загальному випадку необхідно перерахувати розподіл навантаження при переході від IP до MPLS-мережі. Підхід до рішення цієї

задачі описаний в [9], а один з можливих шляхів рішення - в [10].

Різниця в часі передачі в напрямку зв'язку буде дорівнювати (без врахування розподілу пакетів у часі):

$$\Delta t(N, K, \rho) = t_{LSP-TE}(N) + t_{RSVP-TE}(N) + \chi(\rho) \times \Delta t_{MPLS-IP}(N, K),$$

де $t_{LSP-TE}(N)$ - час, який витрачається на формування LSP-тунелю; $t_{RSVP-TE}(N)$ - час, який витрачається на формування RSVP-тунелю (за не обхідності); $\Delta t_{MPLS-IP}(N, K)$ - різниця між часом передачі K пакетів поспіль в технологіях MPLS (вже сформованим тунелем) і в IP.

Множник $\chi(\rho)$ присутній лише біля останнього доданку тому, що запити на формування тунелів обслуговуються за найвищим пріоритетом - тобто не стоять в чергах на обслуговування. Детально розглянуті всі складові і пояснено їхнє значення в [11], а в мережі Інтернет є електронна версія цього видання.

На рис. 4 показана залежність в різниці часу доставки повідомлення $\Delta t(N, K, \rho)$ в напрямку зв'язку мереж IP і MPLS від трьох параметрів (кількості транзитних вузлів N , кількості пакетів в повідомленні K і рівня ρ завантаження вузлів). Для графічного відображення на площині прийемо, що N, K - змінні, а ρ - константа. На рис. 4, а $\rho=0$; рис. 4, б $\rho=0,4$; рис. 4, в $\rho=0,7$; рис. 4, г $\rho=0,9$. Дані графіки побудовані за наступних співвідношень часових затрат на виконання операцій в маршрутизаторах і затримок на лініях зв'язку:

- час передачі пакета дейтаграмним способом одиниць часу;
- час передачі у зворотному напрямку пакету-підтвердження запиту протоколу LDP;
- час просування інформаційного пакету між IP- маршрутизаторами (затримка в лінії зв'язку)

$$t_{злзIP} = t_{др}/100;$$

- час необхідний для формування запиту на резервування ресурсів протоколом RSVP «поверх» протоколу LDP

$$t_{запитRSVP} = 3t_{др}/2;$$

- час просування пакету-запиту протоколу RSVP;
- час передачі у зворотному напрямку запиту протоколу RSVP з резервуванням;
- час просування пакету-запиту протоколу RSVP між маршрутизаторами (затримка в лінії зв'язку):

$$t_{\downarrow}(\text{запит між марш в RSVP}) = (t_{\downarrow др}/100) \cdot 1,01;$$

- час просування пакету-підтвердження протоколу RSVP між маршрутизаторами (затримка в лінії зв'язку):

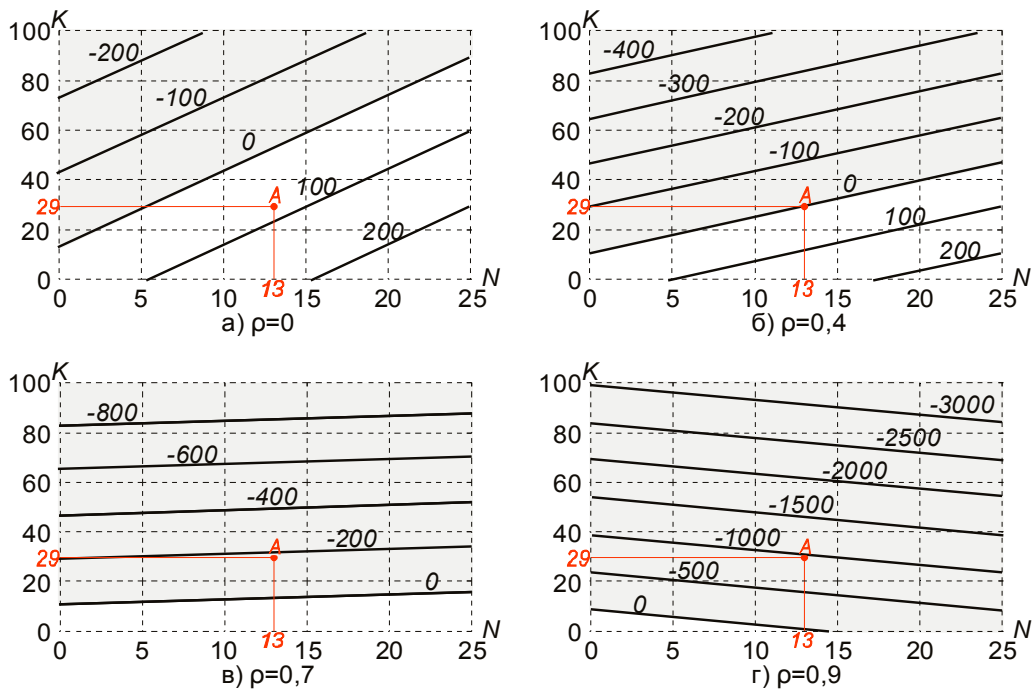


Рис. 4. Різниця в часі доставки повідомлення в мережах MPLS і IP з резервуванням ресурсів

t_{\downarrow} (підтвердж між марш в RSVP) = $(t_{\downarrow} dp / 100)$ 1,02;

- час на визначення приналежності IP-паketу до певного класу FEC;
- час передачі пакета за допомогою комутації за мітками (головне співвідношення при оцінці доцільності тієї чи іншої технології);
- час просування інформаційного пакета між MPLS-маршрутизаторами (затримка в лінії зв'язку)

t_{\downarrow} (прос міт меж марш MPLS) = $(t_{\downarrow} dp / 100)$ 1,03.

Ці показники можуть бути різними в залежності від обладнання і змінюватись з часом.

Для прикладу розглянемо випадок, коли необхідно передати повідомлення з 29 пакетів через тракт, який складається із 13 проміжних маршрутизаторів в IP-мережі (і з 15-ти в MPLS відповідно) (рис. 4, точка А). При завантаженні складових тракту (ρ) близькому до нуля IP-мережа передасть дане повідомлення на 80 одиниць часу швидше чим мережа MPLS (рис. 4 а). При $\rho = 0,4$ час передачі обох мережах буде однаковий (рис. 4 б).

У випадках $\rho=0,7$ (рис. 4 в) та $\rho = 0,9$ (рис. 4, г) мережа MPLS виграватиме на 180 і 970 одиниць часу відповідно. На рис. 4 показані абсолютні значення різниці часу передачі при використанні технологій MPLS і IP, проте важливіше знати відносні показники часу доставки повідомлення, тобто у скільки разів (або відсотків) одна технологія переважає іншу за часом затримки

$$T_{\text{прост міт меж марш MPLS}} = \frac{T_{\text{обсл по IP}}}{T_{\text{обсл по MPLS}}} \quad (\text{рис. 5}).$$

Розглянемо випадок, коли необхідно передати повідомлення із 29 пакетів і через тракт, який складається із 13 проміжних маршрутизаторів. При завантаженні складових тракту (ρ) близькому до нуля IP-мережа передасть дане повідомлення в 1/0,83 раз швидше ніж мережа MPLS (рис. 5 а). При $\rho=0,4$ час передачі обох мережах буде однаковий, тобто співвідношення дорівнюватиме одиниці (рис. 5 б). У випадках $\rho=0,7$ (рис. 5 в) та $\rho=0,9$ (рис. 5 г) мережа MPLS виграватиме в 1,15 і 1,28 разів відповідно.

В цілому – перебудувувати тракти IP на тракти MPLS не варто, коли в мережі передаються в основному невеликі повідомлення. Однак, при перевантаженні (для реальної мережі - критично) $\rho=0.9$ доцільність передачі дейтаграмним способом малої кількості пакетів на велику відстань (кількість проміжних вузлів) зникла. Це пояснюється тим, що при формуванні тунелю пакету-запиту дається найвищий пріоритет, і він просувається зі швидкістю, яка не залежить від завантаження мережі, у той час як швидкість просування інформаційного пакета залежить від завантаження у значній мірі. В результаті при значних завантаженнях мережі навіть невелика кількість пакетів на значну відстань буде просуватись швидше по мітках чим в дейтаграмному режимі.

Зрозуміло, що при наданні сервісів з гарантованою якістю обслуговування, провайдер менш ефективно використовує пропускну здатність мережі, що веде до зростання вартості цих сервісів. MPLS мережі за рахунок підтримки рішень трафік - інжинірингу, а також переваг при використанні міток, забезпечують досить високі показники якості обслуговування.

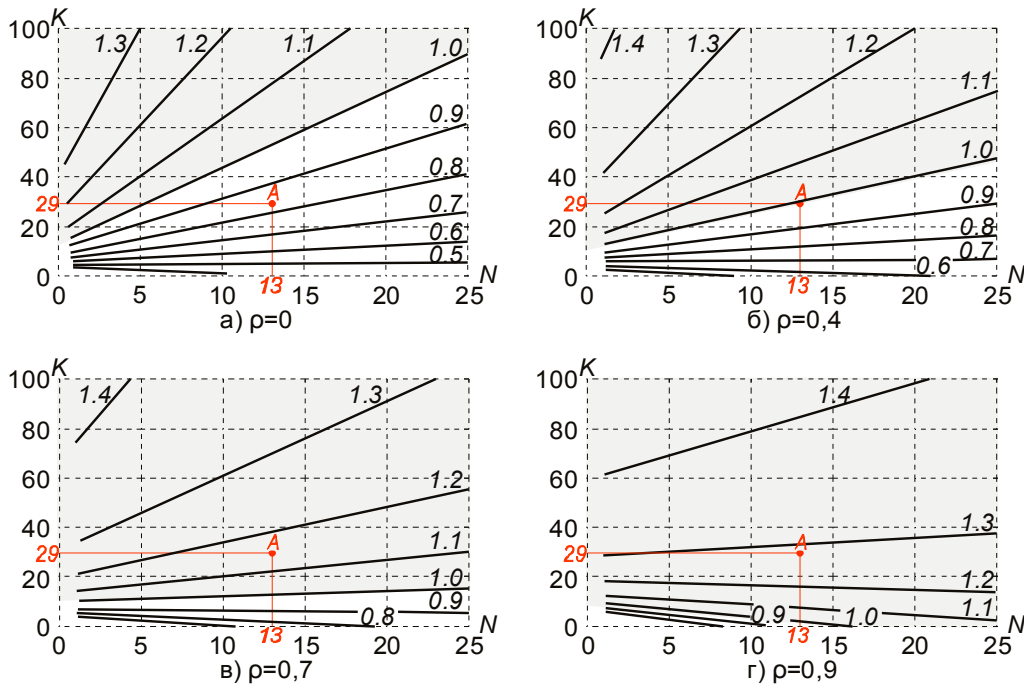


Рис. 5. Відношення в часі доставки повідомлення в мережах MPLS і IP з резервуванням ресурсів

Через це оператори/провайдери ринку телекомунікаційних послуг нерідко взагалі не використовують, або зводять до мінімуму резервування ресурсів.

У такому випадку різниця в часі передачі між мережами IP і MPLS буде обчислюватись

$$\Delta t(N, K, \rho) = t_{LSP-TE}(N) + \chi(\rho) \times \Delta t_{MPLS-IP}(N, K).$$

З точки зору часу доставки повідомлення від джерела до користувача, технологія MPLS завжди

буде мати переваги у порівнянні з IP, якщо інформація передається наперед сформованим тунелем. Проте, під час простою тунель руйнується – інформація в таблицях просування за мітками видаляється, – адже чим більше записів, тим довше триває пошук необхідного, і, як наслідок, більш тривалий процес маршрутизації. При використанні тунелю лічильники на його видалення встановлюються в початкову позицію. Таким чином, важливим фактором для вибору технології є розподіл трафіку в часі (рис. 6).

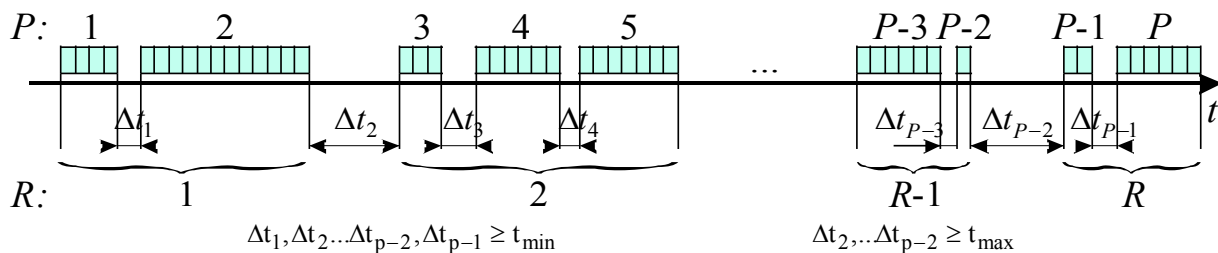


Рис. 6. Розподіл трафіку в часі

На рис. 6: R – кількість проміжків часу без передачі інформації, які перевищують допустимий час простою тунелю – t_{max} , після якого відбувається його руйнування;

P – кількість пачок – пакетів, що слідує один за одним даним тунелем, (пакети вважаються пачкою, якщо проміжок часу між ними (сусідніми), не перевищує t_{min}).

З врахуванням розподілу трафіку різниця в часі передачі повідомлення у напрямку зв'язку в мережах MPLS і IP (абсолютне значення):

$$\Delta t(N, K, \rho) = R(t_{LSP-TE}(N) + t_{RSVP-TE}(N)) + \sum_{i=1}^p \chi(\rho_i) \times \Delta t_{MPLS-IP}(N, K_i),$$

де K_i – кількість пакетів в i-й пачці; ρ_i – завантаження мережі в час передачі i-ої пачці пакетів.

Відносне значення дорівнює:

$$\frac{T_{обсл по IP}}{T_{обсл по MPLS}} \approx R(t_{LSP-TE}(N) + t_{RSVP-TE}(N)) + \chi(\rho) \times \Delta t_{MPLS-IP}(N, K_i),$$

де t_k в мер MPLS(N,K) - час, котрий необхідний для комутації пакетів через транспортну мережу MPLS;

- час, котрий необхідний для передачі пакетів через транспортну мережу IP.

Абсолютне значення різниці в часі дорівнює:

$$\Delta t_{\text{MPLS-IP}(N,K)} = t_k \text{ в мер MPLS}(N,K) - t_k \text{ в мер IP}(N,K)$$

Отже, чим більше навантаження обслуговує мережа, тим доцільніший перехід на нове обладнання. Періоди часу, при проходженні яких відбувається руйнування вже існуючих тунелів (видаляються дані з таблиці комутації), вносять додаткові затримки. Так як після кожного такого періоду при надходженні повідомлення в цих напрямках тунель необхідно формувати заново. У відносно невеликих мережах можна встановити час існування тунелів, що не використовуються, більшим; проте цим налаштуванням не можна зловживати, особливо при зростанні розміру транспортної MPLS.

Технологія MPLS поділяє вхідний трафік на класи еквівалентності пересилання – групи пакетів з однаковими вимогами на обслуговування. Кожен клас обслуговується окремо, і не залежить від інших. Політику поділу на класи встановлює оператор. Основний критерієм – напрям передачі. Проте, трафік в одному напрямку також може поділятися на класи: за вимогами до якості обслуговування (чутливості до затримок); за пріоритетністю клієнтів, тобто трафік, що приходить на один вузол від різних користувачів диференціюється за рівнем договору з оператором; за приналежністю клієнтів до віртуальних приватних мереж тощо. Оператор може прийняти рішення про пріоритетність обслуговування клієнтів в залежності від послуг, що використовуються, їх потенціальної платоспроможності і перспектив подальшої співпраці. Перевагою великої кількості класів еквівалентності обслуговування є більші можливості трафік інжинірингу – більш ефективне використання ресурсів мережі. Мінусом – зростання кількості записів в таблицях просування за мітками, службової інформації і навантаження на вузли. Вимоги до пріоритетності можуть закладатися в спеціальне поле мітки (максимум – 8 рівнів), без поділу на класи.

Зазвичай різні типи класів за якістю обслуговування забезпечуються за рахунок того, що всі пакети одного напрямку рухаються одним тунелем, клас обслуговування за якістю (поле *Exp* в мітці) лише задає порядок обслуговування в черзі на маршрутизаторі.

Якщо оператор вирішить поділити трафік додатково на класи еквівалентності пересилання за критерієм якості, то різниця в часі передачі у напрямку

зв'язку між мережами MPLS і IP прийме значення суми різниць в часі передачі за кожним класом еквівалентності:

$$\Delta t(N, K, \rho) = \sum_{m=1}^{Fec} ((R)_m (t_{\text{LSP-TE}}(N) + t_{\text{RSVP-TE}}(N)) + \chi(\rho) \times \Delta t_{\text{MPLS-P}}(N, K))$$

де Fec – кількість класів еквівалентності пересилання.

При постановці питання про доцільність модернізації вже існуючої мережі за допомогою систем моніторингу необхідно зняти показники завантаження мережі (ρ) та характеристики трафіку (R) за певний проміжок часу. Зазвичай мережі мають ієрархічну структуру. Як було показано вище, чим більші об'єми трафіку обслуговує мережа, там доцільнішим є перехід на обладнання MPLS. Тому спочатку розрахунки проводяться для найбільш потужної частини (опорна, транспортна, магістральна), а в разі доцільності переходу, розрахунки проводять на рівнях агрегації, дистрибуції і доступу. На першому етапі обчислюються різниці в часу для кожного напрямку. Методами, які описані в [10, 11, 12] проводиться перерахунок навантаження в мережі. За отриманими результатами проводиться перерахунок часу затримки для всієї мережі і, в поєднанні з економічним аналізом, приймається рішення щодо доцільності перебудови існуючої мережі. Розрахунки розподілу навантаження для години найбільшого навантаження дозволять оцінити пропускну здатність мережі з заміненієм обладнання. При відносно рівномірному розподілі ресурсів мережі і навантаження якісну оцінку можна провести за обмеженою кількістю трактів передачі або для окремих типових підмереж, доменів.

Висновки

Мережі MPLS забезпечують високі параметри якості обслуговування, методи і можливості закладені розробниками дозволяють ефективно використовувати всі наявні мережні ресурси, розширюють спектр сервісів.

Сьогодні важливість рішення задачі визначення доцільності переходу в транспортних мережах IP на обладнання MPLS, тобто знаходження області раціонального використання тієї чи іншої технології, підвищується. Це відбувається внаслідок зростання популярності технології MPLS, зростання об'ємів передавання інформації і поширення застосування багатопроTOCOLьної комутації за мітками, як в магістральних, так і в локальних телекомунікаційних мережах (йде здешевлення обладнання).

Виведені аналітичні залежності демонструють, що технологія MPLS має порівняно з IP наступні особливості:

– мережі MPLS дозволяють (для надмірно завантажених IP-мереж, з великими об'ємами обміну) збільшити пропускну здатність без зміни кабельної інфраструктури і, в цілому, забезпечують високі параметри якості обслуговування, а методи і можливості закладені розробниками, дозволяють ефективно використовувати всі наявні мережні ресурси;

– MPLS не доцільно використовувати для надто пульсуючого малооб'ємного трафіку. Тобто, в мережах де є багато користувачів з малим трафіком, для отримання вигоди від MPLS попередньо необхідно виконати концентрацію/групування клієнтів. Особливо це стосується мереж з розподіленими базами даних, локальних мереж підприємств (можуть бути десятки тисяч користувачів). Наприклад, локальні мережі з власними серверами бітрекерів (торенти), адаптивними системами моніторингу – пасивне відеоспостереження, системи теплової, димової сигналізації, тощо;

– більш доцільно MPLS використовувати в завантажених мережах, чим більше навантажена мережа, тим більші вигоди

– не доцільно використовувати MPLS при відносно великій кількості проміжних маршрутизаторів і нестабільному трафіку.

В майбутньому планується запропонувати підходи, які розширяють раціональну, з точки зору часу затримки передачі пакетів, область використання технології MPLS, а саме – розгортання в локальних і корпоративних мережах.

3. Гольдштейн А.Б. MPLS технология и протоколы / А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн – СПб.: БВХ, 2005. – 304 с.

4. Вивек О. Структура и реализация современной технологии MPLS / О. Вивек. – М.: Вильямс, 2004. – 474 с.

5. Гольдштейн А.Б. Механизм эффективного туннелирования в сети MPLS / А.Б. Гольдштейн // Вестник связи, 2004. – № 2. – С. 4-16.

6. Shekhar Srivastava, Appie van de Liefvoort, Deep Medhi Traffic engineering of MPLS backbone networks in the presence of heterogeneous streams // Computer Networks. – 2009. – № 53. – P. 2688–2702.

7. Wu-Hsiao Hsua, Yuh-Pyng Shieha, Jenhui Chen Multiple path selection algorithm for Diff Serv aware MPLS traffic engineering // Computer Communications. – 2010 – № 33. – P. 1557–1565.

8. Daniel Guernsey, Mason Rice, Sujeet Shenoj Implementing novel reactive defense functionality in MPLS networks using hyperspeed signaling // International journal of critical infrastructure protection. – 2012. – № 5. – P. 40–52.

9. Романов А.И. Модель сети MPLS / А.И. Романов, В.Б. Маньковский / Мат. 23-й Межд. Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Москва-Киев-Минск-Севастополь, 2013. – Том 1. – С. 488-489.

10. Mankovskiy V.B., Service model of the voice traffic in multiprotocol label switching networks / Volodymyr B. Mankovskiy, Oleksander I. Romanov // Telecommunication Sciences. – No 1. – 2013. – P. 33-38.

11. Романов О.И. Оцінка часу затримки в мережах IP і MPLS при обслуговуванні повідомлень у складних багатотранзитних напрямках зв'язку / О.И. Романов, С.П. Пасько // Наукові вісті НТУУ «КПІ» №. – 2011. – С. 11-20.

12. Будьлдина Н.В. Оптимизация сетей с многопротокольной коммутацией по меткам / Н.В. Будьлдина, Д.С. Трибунский, В.П. Шувалов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 144 с.

Список літератури

1. Рекомендация IETF по MPLS: RFC-2702 Requirements for Traffic Engineering Over MPLS.

2. Рекомендация IETF по MPLS: RFC-3031 MPLS Architecture.

Надійшла до редколегії 4.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.И. Романов, Національний технічний університет України «КПІ», Київ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ МАРШРУТИЗАТОРОВ В IP-СЕТИ НА ОБОРУДОВАНИЕ MPLS В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗКИ

С.П. Пасько, А.А. Лаврут, А.В. Латуха, В.П. Пасько, А.В. Ермаков

В статье рассматривается переход от IP-сетей к MPLS без изменения кабельной инфраструктуры. В качестве критерия целесообразности замены маршрутизаторов в IP-сети на оборудование MPLS рассматривается время задержки передачи пакетов. Выведенные аналитические зависимости демонстрируют, что технология MPLS в сравнении с IP имеет ряд преимуществ, которые возрастают с уровнем загрузки сети. Математический аппарат, приведенный в статье, позволяет провести границу демаркации по критерию времени доставки пакетов между транспортными сетями.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, IP-сеть, маршрутизация, MPLS технология.

DETERMINATION OF EXPEDIENCY REPLACEMENT OF ROUTERS IN IP - NETWORKS ON EQUIPMENT MPLS IN DEPENDENCE ON PARAMETERS OF LOADING

S.P. Pasko, A.A. Lavrut, A.V. Latuha, V.P. Pasko, A.V. Ermakov

In the article a transition is examined from IP-networks to MPLS without the change of cable infrastructure. As a criterion of expediency of replacement of routers in IP-network on the equipment MPLS time of delay transmission of packages is examined. The shown out analytical dependences demonstrate, that technology MPLS by comparison to IP has a row of advantages that increase with the level work-load of network. The mathematical vehicle presented in the article allows to conduct the border of demarcation on the criterion of time of delivery of packages between transport networks.

Keywords: telecommunication network, IP- network, routing, MPLS technology.