

УДК 004.77

М. В. АЛЕКСАНДРОВ, магістрант;

Д. Д. КРАЩЕНКО, магістрант;

В. В. ДМИТРЕНКО, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ МЕРЕЖІ IP/MPLS

Розглянуто перспективи впровадження мережі зв'язку на базі технології IP/MPLS, виконано огляд технічних особливостей та проаналізовано переваги даної мережі, оскільки саме ця технологія в перспективах глобального розвитку операторів мобільного зв'язку визначена як основа транспортної мережі.

Ключові слова: LSP; IP/MPLS; ядро мережі; SDH; DWDM; ресурс; архітектура; технологія; віртуалізація; VPN; QOS; COS; SDSL; LP-трафік; програмно-конфігурована мережа.

Вступ

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток мережі Інтернет породжує попит на все більш різноманітні якісні та надійні послуги. Це змушує Інтернет-провайдерів безперервно модернізувати свої мережі, забезпечуючи задоволення постійно зростаючих потреб у більшій смугі пропускання, передбачуваних показниках продуктивності і моделюванні трафіку.

Технологія MPLS — це механізм передавання даних, який емулює різні властивості мереж із комутацією каналів поверх мереж із комутацією пакетів [3]. Дана технологія являє собою спробу прискорити просування IP-пакетів і зберегти гнучкість, характерну для IP-мереж.

Мережі низки Інтернет-провайдерів побудовано сьогодні на основі багаторівневої моделі, яка припускає, що логічна маршрутизація IP-мережі може функціонувати поверх комутованої топології другого рівня і незалежно від неї.

За допомогою MPLS можна розв'язувати такі завдання:

- прискорене просування пакетів всередині мережі оператора вздовж найкоротших традиційних маршрутів;
- створення віртуальних приватних мереж (VPN);
- вибір і встановлення шляхів із урахуванням завантаження ресурсів (*Traffic Engineering, TE*).

Основна частина

Метою використання багатоканальної комутації за позначками (*Multiprotocol Label Switching, MPLS*) є передусім більш ефективне використання пропускної здатності магістральних каналів зв'язку, а також побудова сучасної мережної інфраструктури на основі використання оптичних технологій для організації високошвидкісної магістральної мережі і єдиної системи сигналізації, що дасть змогу об'єднувати різні типи середовищ і системи передавання інформації [1]. Дана технологія дозволяє прискорити просування IP-пакетів і зберегти гнучкість, характерну для IP-мереж, за допомогою механізмів керування трафіком і підтримання якості обслуговування, що застосовуються в транспортних мережах [1]. Важливо і те, що MPLS може використовуватися не тільки з ATM, а й з будь-якою іншою технологією каналного рівня. MPLS застосовує і розвиває концепцію віртуальних каналів, об'єднуючи її з технікою вибору шляхів на основі інформації про топології і поточне завантаження мережі, одержуваної за допомогою протоколів маршрутизації мереж IP [1]. MPLS — це технологія швидкої комутації пакетів у багатопрокольних мережах, заснована на використанні позначок (рис. 1). MPLS поєднує в собі керування трафіком, характерне для технологій каналного рівня, масштабованість і гнучкість протоколів мережного рівня. «Багатопроколь

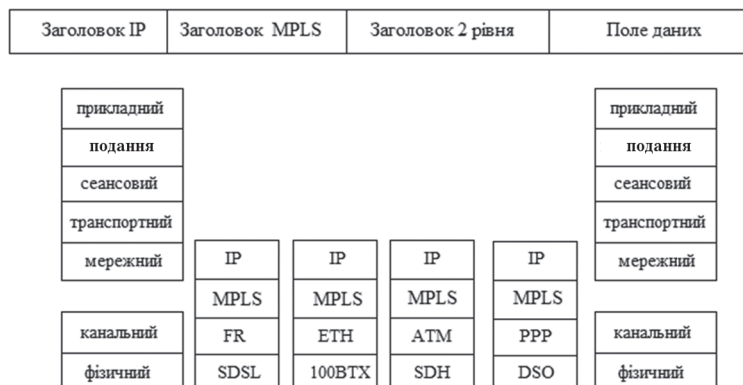


Рис. 1. Технологія MPLS в IP-мережах і модель OSI/ISO

© М. В. Александров, Д. Д. Кращенко, В. В. Дмитренко, 2019

них» у назві технології означає, що MPLS інкапсулює протокол і може транспортувати безліч інших протоколів [1].

Фізичний рівень містить функції, які забезпечують використання фізичного середовища для двобічного передавання бітів (із такою вірогідністю, яку задовольняє це середовище) по прямому тракту, що зв'язує два вузли мережі.

Другий рівень — рівень ланки даних — містить функції, що забезпечують формування в цьому тракті надійної логічної ланки зв'язку, за яким відбувається двобічний обмін інформаційними блоками між вузлами. На цьому рівні виявляються і виправляються помилки, а також гарантується вірогідність передавання.

Третій (мережний) рівень містить функції, які забезпечують транспортування інформаційних блоків від відправника до одержувача через кілька вузлів мережі за невласливим маршрутом транспортування, що складається з ланок другого рівня.

Модель, зображена на рис. 1, показує, що протокол MPLS не утворює повноцінного рівня, а «вклинюється» в мережі між 2-м і 3-м рівнями моделі OSI, залишаючись незалежним від цих рівнів. Можна сказати, що одночасне функціонування MPLS на мережному рівні і на рівні ланки даних призводить до утворення так званого рівня 2.5, де і виконується комутація за позначками [2].

Як уже зазначалося, логічна маршрутизація IP-мережі функціонує поверх комутованої топології другого рівня і незалежно від неї. Комутатори другого рівня забезпечують високошвидкісні з'єднання, тоді як IP-маршрутизатори на периферії мережі, пов'язані один з одним мережею віртуальних каналів другого рівня, здійснюють інтелектуальне пересилання IP-пакетів [1].

Отже, MPLS — це один із кроків на шляху еволюційного розвитку мережі Інтернет у бік спрощення її інфраструктури завдяки інтеграції функцій другого (комутація) та третього (маршрутизація) рівнів.

Як унаочнює рис. 1, MPLS — універсальна технологія. За її допомогою можна розв'язувати такі завдання:

- прискорене просування пакетів усередині мережі оператора вздовж найкоротших традиційних маршрутів;
- створення віртуальних приватних мереж (VPN);
- вибір і встановлення шляхів зі збалансованим розподілом завантаження ресурсів (*Traffic Engineering, TI*) [1].

Таким чином, з огляду на зазначені завдання, можна дійти висновку, що у сфері майбутніх телекомунікацій MPLS відведено роль провідної технології. Її розглядають як фундамент для інфра-

структури мереж наступного покоління і надання нових послуг, яка уможливить ефективніше передавання великих обсягів трафіку в магістральних мережах.

Маючи цілу низку переваг, ця технологія доповнює IP-мережі перевагами успадкованих інфраструктур frame relay, ATM і TDM, а також сприяє впровадженню протоколу IP як універсального транспорту для всіх видів додатків [3]. У разі застосування MPLS як базового механізму комутації можна спростити розвиток операторських мереж IP, об'єднати різні технології доступу, підвищити масштабованість маршрутизації IP і зробити мережі IP настільки ж придатними для передавання голосу і відео, як мережі ATM, де забезпечення якості та резервування ресурсів для передавання різноманітного трафіку закладено на протокольному рівні [3]. Порівнюючи з IP, основною перевагою MPLS є комутація за позначками і поділ керуючої складової трафіку з транспортною. Комутація за позначками дає змогу створювати сервіси, які важко або неможливо реалізувати на базі IP, і загалом вона має більш низьку вартість на одиницю обсягу трафіку порівняно з ATM. Окрім того, ATM має високу надлишковість (співвідношення корисної і службової інформації).

Тому MPLS розглядається як ефективна й економічна основа для мультисервісного транспорту, а сучасні комутуючі маршрутизатори LSR (застосовувані в MPLS-домени) здатні одночасно (і з однаковою продуктивністю) обробляти трафік ATM, IP і MPLS.

Таким чином, упровадження MPLS дає змогу підвищити рівень сервісу, надати затребувані послуги на базі IP (із гарантованим рівнем якості) і послуги конвергентних мереж для корпоративних клієнтів, зокрема створення віртуальних приватних мереж (VPN) і передавання голосу поверх IP (VoIP).

Інфраструктура MPLS VPN дає можливість з'єднувати вузли за схемою «будь-який з будь-яким» незалежно від технології доступу (frame relay, виділена лінія, DSL або Ethernet), підвищує продуктивність, масштабованість IP і надійність маршрутизації в додатках Triple Play (голос, дані, відео). З MPLS добре поєднується Ethernet: завдяки такій комбінації відкривається можливість економічного надання цілого комплексу послуг і впровадження ширококутових додатків у міських мережах і мережах доступу [4].

Для створення VPN застосовувалися різні технології, серед яких виділені канали, frame relay, ATM, L2TP, IPSec. У мережі MPLS для цього оптимізуються в режимі реального часу захищені логічні маршрути. Оскільки прив'язування до виділених маршрутів відсутнє, кількість вузлів у IP VPN може легко нарощуватися. Керування

трафіком засобами ТІ дозволяє знизити витрати з обслуговування мережі і запропонувати оптимальний рівень послуг щодо пропускної здатності та затримки, а механізми динамічної адаптації підвищують відмовостійкість опорної мережі [3].

Таким чином, MPLS, орієнтована на встановлення з'єднання, забезпечує структуру, необхідну для гарантування якості LP-трафіку.

Хоча QoS і клас обслуговування (CoS) не є фундаментальними властивостями MPLS, їх можна застосувати до мереж MPLS, де використовується процес формування трафіку. Це дасть можливість провайдерам реалізувати Угоди про рівні обслуговування (*Service Level Agreement, SLA*) із споживачами, аби гарантувати аспекти якості, зокрема пропускну здатність, затримку і джиттер. Окрім передавання основних даних можуть надаватися додаткові послуги, збільшуючи передбачувані доходи і, врешті-решт, уможлиблюючи перехід до конвергентних мереж.

Для більш ефективного використання мереж IP/MPLS із урахуванням зростання мультисервісних послуг, які потребують великої пропускної здатності, а також забезпечення якості обслуговування трафіку постає необхідність в оптимізації керування потоків переданих даних. Із цією метою потрібно створити моделі й алгоритми оптимізації, що забезпечать розподіл трафіку з використанням евристики з уможливленням швидкого перенаправлення трафіку в разі несправності каналу або його перевантаження, з урахуванням диференційного обслуговування, що дуже важливо з огляду на мінливий характер трафіку мережі.

Комутація MPLS є вдосконаленим методом передавання трафіку по мережі з використанням інформації, що міститься в позначках, які приєднуються до IP-пакетів [5]. У разі використання технологій другого рівня, заснованих на передаванні фреймів, позначки впроваджуються між заголовками другого і третього рівнів, а в разі застосування таких технологій, як ATM, заснованих на передаванні осередків, позначки містяться в полях ідентифікатора віртуального маршруту VPI і ідентифікатора віртуального каналу VCI.

Технологія поєднує в собі керування трафіком, характерне для технологій каналного рівня, масштабованість і гнучкість протоколів мережного рівня.

З огляду на проведений аналіз транспортних мереж зв'язку можна виокремити основні переваги багатопроTOCOLьної комутації за позначками:

- ♦ інтеграцію мережної інфраструктури, об'єднання різнорідних мереж IP, ATM і Frame Relay зі скороченням операційних витрат. Спрощення керування мережами завдяки перенесенню сервісів SDH і ATM на більш високий мережний рівень [1];

- ♦ технологія MPLS дає можливість єдиній конвергованій мережі підтримувати як нові, так і існуючі послуги, створюючи ефективний шлях переходу до IP-інфраструктури. MPLS функціонує як поверх наявної мережі, так і нової інфраструктури (10/100/1000/10G Ethernet) і мереж IP, ATM, ретрансляції кадрів, Ethernet і TDM [2];

- ♦ надання маршрутизації в середовищі орієнтованих на з'єднання сервісів із можливістю динамічної перебудови маршрутів в обхід вузла, який відмовив [1];

- ♦ підтримання технологією MPLS надання послуг із гарантованою якістю обслуговування (QoS). Пакети, які мають бути доставлено з високою якістю, можуть позначатися, даючи змогу провайдерам забезпечувати певні малі значення затримки для мовних і відеосигналів у наскрізному з'єднанні [2]. MPLS не визначає нову QoS архітектуру, а базується на використанні широко відомої і зарекомендувала себе на практиці IP QoS парадигми. Для IP QoS визначено дві моделі: IntServ і DiffServ. IntServ визначає потоковий QoS і використовує RSVP для сигналізації. DiffServ застосовує маркування пакетів на межі мережі і подальше оброблення. Трафік розбивається на класи і залежно від цього обробляється механізмами обмеження, вирівнювання і пріоритетності. MPLS QoS використовує DiffServ підхід, розміщуючи необхідне маркування в заголовку. Еквівалентом DSCP-позначки може бути трибітове Experimental поле в MPLS;

- ♦ ефективне передавання великих обсягів трафіку в магістральних мережах, скорочення розмірів таблиць маршрутизації в ядрі мережі, комутацію пакетів на основі позначок, прозоре передавання через ядро мережі IP/MPLS трафіку Ethernet і ATM/FR [1];

- ♦ MPLS дозволяє формувати трафік. Явна (точно визначена) маршрутизація і функція формування трафіку допоможуть ущільнити більший обсяг даних у межах наявної пропускної здатності [2];

- ♦ керування інформаційними потоками (traffic engineering), пріоритетизацію трафіку за позначками відповідно до класу обслуговування (CoS), просте і економічне вирішення проблеми якості сервісу (QoS) [1]. ТІ призначено для оптимального розподілу трафіку відповідно до запитів користувачів і можливостей мережі, а також для оперативного перерозподілу трафіку у разі нештатних ситуацій (обриви ліній, перевантаження вузлів тощо). ТІ об'єднує два основні методи контролю та організації інформаційних потоків у мережі: *перший метод* — керування трафіком за допомогою функцій маршрутизації, до яких належать: перетворення номера в маршрутну адресу, вибір шляху, розрахунок маршрутних таблиць, розподіл

ресурсів з урахуванням параметрів QoS; *другий метод* — керування пропускнуою здатністю за допомогою дизайну мережі;

- ◆ MPLS спрощує вимоги оброблення, що висуваються до маршрутизаторів, оскільки маршрутизатори просто передають пакети, ґрунтуючись на фіксованих позначках, не аналізуючи IP-заголовки [2];

- ◆ MPLS забезпечує відповідний рівень безпеки, щоб зробити IP-мережу такою ж безпечною, як мережа ретрансляції кадрів у WAN, одночасно скорочуючи потребу на шифрування в IP-мережах загального користування [2];

- ◆ краще регулювання віртуальних приватних мереж (VPN) на базі MPLS, ніж VPN на базі користувача, оскільки вони базуються на мережі провайдера, скорочуючи тим самим необхідність конфігурації і керування для споживача [2];

- ◆ просте нарощування вузлів у мережах VPN і підімкнення до ядра MPLS абонентів, які використовують різні технології доступу, для надання послуг VPN [1].

До основних переваг VPN на базі MPLS також належать [3]:

- відсутність обмежень на план адрес, який застосовується кожним клієнтом VPN. Клієнт може використовувати або унікальний, або приватний адресний простір IP. З погляду постачальника послуг клієнти можуть мати можливість перекривати адресні простори;

- клієнтський маршрутизатор на кожному із сайтів клієнта не обмінюється безпосередньо маршрутною інформацією з іншими маршрутизаторами, що входять до VPN. Клієнти не заглиблюються в проблеми маршрутизації між сайтами, за які несе відповідальність постачальник послуг;

- у клієнтів VPN немає магістралі (віртуальної магістралі), яку їм потрібно було б адмініструвати;

- правила, що визначають приналежність конкретного сайта до даної VPN, є правилами, установленними клієнтом. Модель адміністрування VPN дозволяє зробити так, що правила клієнта реалізуються або одним постачальником послуг, або постачальником послуг спільно з клієнтом;

- VPN може охоплювати безліч постачальників послуг;

- можливість гнучкого використання засобів криптографічного захисту, що робить VPN клієнта більш захищеною;

- гнучка і масштабована якість обслуговування завдяки використанню експериментальних бітів у полі заголовка MPLS або за рахунок використання регулювання трафіку LSP;

- легкість, гнучкість і оперативність масштабування [3];

- організація прозорих віртуальних корпоративних мереж на третьому (RFC-2547) або другому рівні [1].

Основними перевагами побудови захищеної віртуальної приватної мережі, заснованої на технології MPLS, є таке [4; 5]:

- адресний простір і маршрутна інформація різних VPN НЕ перетинаються і, в загальному випадку, можуть бути однаковими. Ізольованість адресного простору досягається за рахунок використання особливої схеми адресації VPN — IPv4, яка реалізується додаванням 8-байтового розрізнявача маршруту до оригінальної IP-адреси. Розрізнявач маршруту забезпечує унікальність адрес, що належать клієнтові в межах мережі зв'язку оператора, і дозволяє різним VPN використовувати однакові адресні простори IPv4;

- до опорної мережі оператора зв'язку неможливо отримати доступ ззовні. Ізольованість маршрутною інформацією досягається тим, що на граничному маршрутизаторі провайдера всім інтерфейсам, що належать тій чи іншій VPN, ставиться у відповідність своя віртуальна таблиця маршрутизації. Обмін маршрутною інформацією відбувається в рамках віртуальних таблиць маршрутизації. Розсилання оновлень маршрутною інформацією здійснюється в рамках інтерфейсів, об'єднаних у VPN клієнта. Приховування структури ядра MPLS-мережі оператора зв'язку досягається використанням так званої Глобальної таблиці маршрутизації, в якій містяться всі маршрути в межах внутрішньої мережі оператора. Дана інформація недоступна з мереж клієнтів і в клієнтські VPN не передається;

- віртуальні приватні мережі стійкі до атак з інших мереж (наприклад, атак типу «відмова в обслуговуванні» і «несанкціонований доступ»);

- на використання засобів криптографічного захисту не накладається істотних обмежень.

Висновок

Таким чином, з огляду на викладене (поряд зі стійким зростанням обсягу передавання трафіку даних, голосових і відеододатків) постає доцільність упровадження технології багатопроTOCOLьної комутації за позначками (Multiprotocol Label Switching, MPLS) не тільки в крупномаштабних операторських мережах, а й у великих корпоративних мережах і їхніх філіях.

Список використаної літератури

1. Орлов С. Перекресток миров // Журн. сетевых решений LAN. 2017. №5.
2. Rosen E. RFC 2702. Multiprotocol Label Switching Architecture. September 2016.

3. **Захватов М. А.** Вопросы безопасности в MPLS сетях // Документальная электросвязь. 2016. №13.

4. *On-demand optimization of label switched paths in MPLS networks* / A. Juttner, B. Szviatovszki, A. Szentesi [et al.] // IEEE 2000.

5. **Feldmann A., Rexford J.** IP Network Configuration for Intradomain Traffic Engineering // IEEE Network. 2001. Vol. 15, no. 5. P. 46–57.

Рецензент: канд. техн. наук **В. І. Кравченко**,
Державний університет телекомунікацій, Київ.

Н. В. Александров, Д. Д. Кращенко, В. В. Дмитренко

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТИ IP/MPLS И АНАЛИЗ ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Рассмотрены перспективы внедрения сети связи на базе технологии IP/MPLS, выполнен обзор технических особенностей и проанализированы преимущества данной сети, поскольку именно эта технология в перспективах глобального развития операторов мобильной связи определена как основа транспортной сети.

Ключевые слова: LSP; IP/MPLS; ядро сети; SDH; DWDM; ресурс; архитектура; технология; виртуализация; VPN; QOS; COS; SDSL; LP-трафик; программно-конфигурируемая сеть.

M. V. Aleksandrov, D. D. Krashchenko, V. V. Dmytrenko

FEATURES OF IP/MPLS APPLICATION AND ANALYSIS OF ITS USE

The article discusses the prospects of implementing a network based on IP/MPLS technology, provides an overview of the technical features and analyzes the benefits of this network, since this technology is in the perspective of the global development of mobile operators as the basis of the transport network. Particular attention is paid to the issues of accelerated promotion of packages on the network, the creation of virtual private networks. MPLS switching is proposed for backbone networks and large corporate networks and branches. MPLS technology in IP networks and OSI/ISO models is considered. IP/MPLS network infrastructure is explored. Routers that support MPLS are called LSR (Label Switching Routers). In order to forward a tagged packet over a specific channel, the LSR must support a label stack presentation and network layer packet processing system. MPLS-based VPNs were also considered. Efficient transmission of large amounts of traffic in backbone networks, reduction of routing tables in the network core, tag-based packet switching, transparent Ethernet and ATM/FR traffic through the IP/MPLS kernel.

Keywords: LSP; IP/MPLS; network kernel; SDH; DWDM; resource; architecture; technology; virtualization; VPN; QOS; COS; SDSL; LP-configuration; config.

