

CARACTERISTICILE ȘI AVANTAJELE TEHNOLOGIEI MPLS

Lector dr. Răzvan Daniel ZOTA

Academia de Studii Economice București
zota@ase.ro

Lector dr. Bogdan OANCEA

Universitatea Artifex București
obogdan@xnet.ro

Rezumat: Rutarea tradițională a pachetelor IP se bazează pe analiza adresei destinație IP, conținută în header-ul nivelului rețea, pentru fiecare pachet ce se deplasează de la sursă la destinație. Acest mecanism are câteva puncte slabe, începând de la probleme de scalabilitate până la suportul deficient, oferit pentru administrarea traficului, precum și slaba integrare cu backbone-urile de nivel 2, deja existente în marile rețele ale furnizorilor de servicii de rețea. Tehnologia MPLS a fost concepută pentru a îmbina beneficiile rutării (fără conexiune), la nivelul 3, cu direcționarea (bazată pe conexiune) la nivelul 2 al modelului ISO-OSI. MPLS separă planul de control, în care protocoalele de nivel 3 sunt folosite pentru a stabili rute utilizate pentru direcționarea pachetelor, de planul datelor, unde rutele cu comutare de etichete la nivel 2 sunt utilizate pentru a direcționa pachetele de date de-a lungul infrastructurii MPLS. Articolul de față încearcă să prezinte o imagine de perspectivă asupra caracteristicilor tehnologiei MPLS și avantajele pe care aceasta le oferă față de rutarea tradițională.

Cuvinte cheie: MultiProtocol Label Switching (MPLS), Rutare IP, Comutare cu etichete, Aplicații MPLS, QoS (Quality of Service).

1. Introducere

Comutarea Multiprotocol cu Etichete (Multi Protocol Label Switching) reprezintă o nouă arhitectură în care nodurile terminale adaugă o etichetă unui pachet IP ce identifică drumul spre destinație, iar nodurile sunt direcționate pe baza etichetei, fără inspectarea header-ului inițial.

MPLS are două mari avantaje:

- permite controlul traficului;
- este potrivit pentru rețele private virtuale, din moment ce eticheta ascunde adresa privată a pachetelor ce sunt trimise de la un sediu la altul al unei firme.

MPLS permite unui comutator ATM să participe la direcționarea IP și oferă posibilitatea comutării IP folosind o abordare orientată pe conexiune; în concluzie, MPLS înseamnă îmbunătățirea rutării din rețeaua publică. Activitățile din ce în ce mai crescând ale furnizorilor de servicii Internet impulsionează avansările rapide ale tehnologiei în domeniul telecomunicațiilor. La mijlocul anilor '90, modelul *IP-over-ATM* a creat multor ISP (Internet Service Provider) posibilitatea de a oferi o tehnologie performantă, pentru traficul de rețea.

Creșterea Internet-ului și evoluția tehnologiei *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* la nivel de fibră optică au condus la apariția unei alternative viabile pentru ATM, prin multiplexarea multiplă a serviciilor (față de circuite individuale). De asemenea, ruterele coloanelor vertebrale Internet depășesc ca viteză comutatoarele ATM, odinioară considerate foarte rapide și cu o lățime de bandă foarte mare. MPLS oferă mecanisme mai simple pentru controlul traficului orientat pe pachete și multifuncționalitate, împreună cu avantajul important al scalabilității. Acest concept a apărut din dorința IETF de a standardiza un număr de soluții de comutare multinivel, propuse inițial la mijlocul anilor '90.

MPLS reprezintă ultimul pas făcut în evoluția tehnologiilor de comutare/rutare pentru Internet, folosind o soluție ce integrează atât controlul rutării IP, cât și comutarea de la nivelul legăturii de date (nivelul 2 din modelul OSI). Mai mult, MPLS oferă bazele unor servicii de rutare avansate, rezolvând o serie de probleme:

- se adresează problemelor privind scalabilitatea, legate de modelul *IP-over-ATM*;
- reduce complexitatea operațiilor din rețea;
- facilitează apariția de noi posibilități de rutare, ce îmbunătățesc tehnicile de rutare IP existente;
- oferă o soluție standardizată, ce are avantajul interoperabilității între diverși furnizori de produse și servicii.

2. Necesitatea comutării multinivel

Pentru a înțelege mai bine problemele ce afectează flexibilitatea comutării tradiționale de pachete IP, trebuie să analizăm, pentru început, câteva dintre elementele esențiale ale rutării IP.

2.1 Rutarea tradițională IP

Direcționarea tradițională a pachetelor IP se bazează pe informația oferită de protocoalele Layer 3 pentru a face o alegere independentă de direcționare în fiecare hop al rețelei. Această alegere de direcționare se bazează

pe adresa IP a destinației, iar toate pachetele ce au această destinație vor urma ruta aleasă în rețea, dacă nu există o altă rută cu cost egal. În cazul în care un ruter descoperă două rute cu costuri egale până la destinație, pachetele pot urma ambele rute, de unde rezultă o formă primitivă de *load-sharing*. Spre exemplu, protocolul (proprietar Cisco Systems Inc.) EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*) oferă suport pentru *load-sharing* cu costuri inegale, cu toate că setarea implicită a acestui protocol este cea cu costuri egale.

Procesul decizional, prin care dispozitivele implicate în procesul de rutare iau hotărâri cu privire la rutele urmate de către pachete în rețea, se bazează pe inspectarea header-ului de nivel 3 al fiecărui pachet. Dispozitivele implicate (dispozitive de *rutare*) nu includ switch-urile ATM sau Frame Relay ce nu au facilități de memorare a informației Layer 3 și nici nu pot lua decizii de rutare a unui pachet, prin analizarea adresei IP de destinație. Astfel, switch-urile ATM sau Frame Relay (dispozitive WAN) nu pot fi integrate în procesul decizional de rutare Layer 3. Administratorii de rețea trebuie să stabilească rute manuale Layer 2, care, apoi, sunt folosite pentru a direcționa pachete Layer 3 între rutere interconectate direct cu dispozitivele Layer 2.

Putem considera exemplul rețelei din figura 1, rețea ce are un nucleu bazat pe ATM, iar la capete sunt rutere capabile de direcționare la nivel rețea. Conform desenului și a legăturilor existente între rutere, toate pachetele trimise de la Cluj Napoca către Iași trebuie trimise prin intermediul ruterului din București, unde sunt analizate și apoi transmise prin intermediul aceleiași conexiuni ATM ruterului din Iași. Acest fapt conduce la întârzieri în rețea precum și la supraîncărcarea ruterului din București și a legăturii ATM dintre ruterul din București și switch-ul corespunzător din București. Pentru a rezolva această problemă, trebuie să existe circuite virtuale ATM între fiecare două rutere conectate la nucleul ATM. Aceste circuite virtuale pot fi create ușor în rețele mici, cu un număr mic de rutere. Problema apare când numărul de rutere crește, având în vedere că numărul de circuite virtuale necesare pentru a asigura interconectarea fiecărei perechi de rutere din rețea se calculează după formula: $n(n-1)/2$.

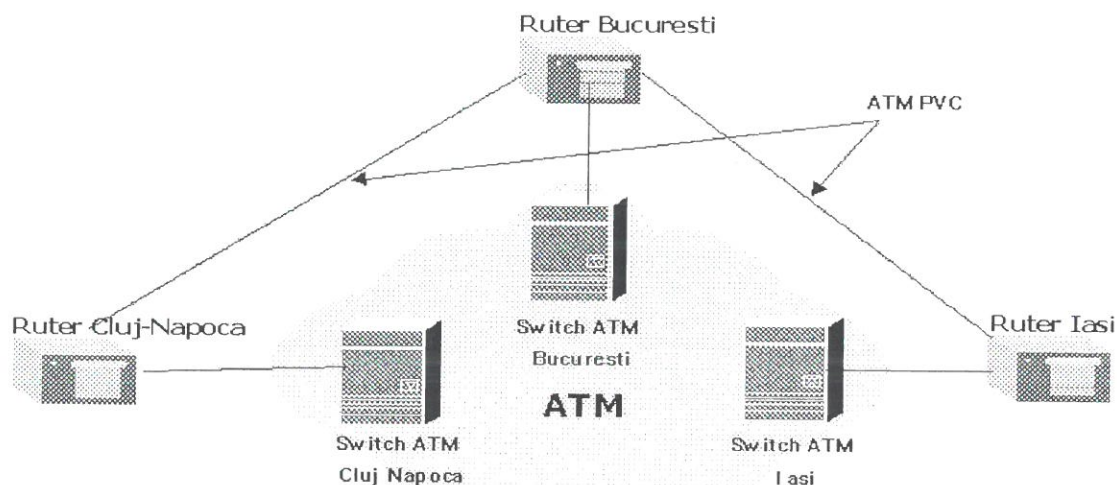


Figura 1. Exemplu de rețea IP bazată pe nucleu ATM

Problema scalabilității rețelei este deosebit de importantă, având în vedere următoarele:

- de fiecare dată când este adăugat un nou ruter în rețea, trebuie setat câte un nou circuit virtual, între acest ruter și toate ruterele din rețea, pentru asigurarea unei rutări optime;
- fiecare ruter atașat nucleului WAN (bazat pe ATM sau Frame Relay) Layer 2 necesită un circuit virtual pentru fiecare ruter atașat rețelei; de asemenea, pentru a asigura redundanța în rețea, fiecare ruter trebuie să stabilească un protocol de adiacență cu fiecare dintre ruterele atașate rețelei; rezultatul tuturor acestor adiacențe este un trafic de rețea deosebit de încărcat; în cazul protocoalelor OSPF sau IS-IS (ca protocoale de rutare), fiecare ruter propagă fiecare modificare a topologiei de rețea fiecărui ruter interconectat la același backbone WAN, de unde rezultă o cantitate de trafic de rutare direct proporțională cu pătratul numărului de rutere din rețea (conform aceleiași formule: $n(n-1)/2$).
- activitatea de aprovizionare a circuitelor virtuale dintre rutere reprezintă un fenomen deosebit de complex, așa cum este foarte dificil să se prevadă cantitatea exactă de trafic între două rutere din rețea; pentru a simplifica această aprovizionare, unii furnizori de servicii optează pentru varianta oferirii clasei de servicii negarantate, servicii denumite „zero CIR (Committed Information Rate)”, în rețelele Frame Relay, și UBR (Unspecified Bit Rate), în rețelele ATM.

Lipsa schimbului de informații între rutere și switch-uri nu a reprezentat o problemă pentru furnizorii tradiționali de servicii Internet, ce foloseau backbone-uri bazate pe rutere, sau pentru furnizorii de servicii WAN (Frame Relay sau ATM). Însă, există o serie de necesități ce conduc la nevoia utilizării de backbone-uri mixte:

- furnizorii tradiționali de servicii de rețea WAN trebuie să ofere servicii IP; în acest sens, aceștia doresc să implementeze aceste noi servicii pe baza infrastructurii existente;
- furnizorii de servicii Internet trebuie să ofere servicii de tip QoS (Quality of Service), ce pot fi realizate mai ușor prin intermediul switch-urilor ATM/Frame Relay, decât prin intermediul ruterele;
- necesitățile crescânde de lățime de bandă, apărute înaintea introducerii interfețelor optice pentru rutere, au obligat furnizori de servicii să folosească tehnologia ATM, deoarece, în acel moment, interfețele ruterele nu ofereau viteza pe care o ofereau switch-urile ATM.

Datorită acestor considerații, a apărut necesitatea unui nou mecanism care să permită schimbul de informație de la nivelul rețea (rutere) cu informația de la nivelul switch-urilor ATM, permițând, în acest mod, participarea switch-urilor la procesul decizional de direcționare a pachetelor, astfel încât conexiunile directe între rutere să nu mai fie o necesitate. Acest nou mecanism vom vedea că este MPLS.

2.2 Servicii diferențiate

Direcționarea tradițională a pachetelor IP utilizează doar adresa IP a destinației conținută în header-ul Layer 3, din cadrul pachetului. Acest concept „hop-by-hop” nu lasă prea mult loc altor concepte inovatoare pentru optimizarea scurgerii fluxului de date. În exemplul din figura 2, pentru locațiile PoP (Point of Presence), tot traficul de rețea va fi direcționat spre Iași prin intermediul legăturii directe dintre ruterul din București și cel din Iași, cu toate că această legătură ar putea fi congestionată sau întreruptă, pe când legăturile București - Timișoara și Timișoara - Iași pot fi puțin încărcate și, astfel, disponibile. Chiar dacă există unele tehnici ce pot afecta procesul de decizie a direcționării pachetelor (una dintre acestea fiind PBR – Policy Based Routing), nu există, totuși, o soluție scalabilă, care să determine întregul drum pe care îl va străbate pachetul de la sursă spre destinație. Conform figurii 2, ar trebui implementată PBR pentru ruterul din București astfel încât, parțial, traficul provenit din locațiile PoP să fie direcționat către ruterul din Timișoara. Însă, aplicarea a unor astfel de soluții, precum PBR pentru ruterele centrale, reduce în mod semnificativ performanțele acestora și are drept rezultat un proiect de rețea mai degrabă nescalabil. Cel mai bine, în acest caz, ar fi ca înseși ruterele PoP să poată specifica drumul pe care îl vor urma pachetele trimise în rețea.

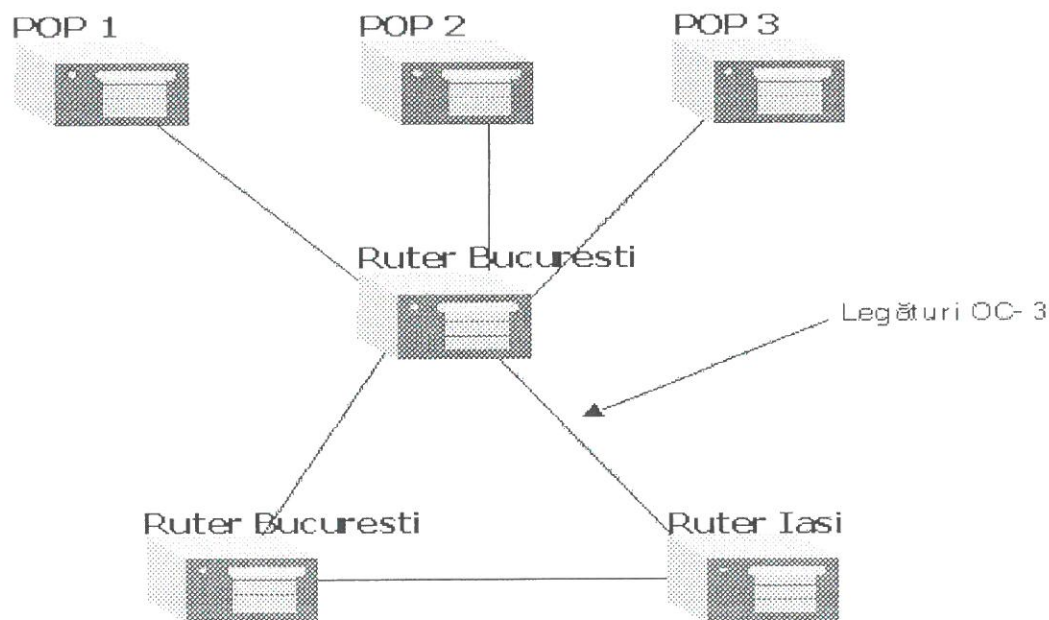


Figura 2. Exemplu de rețea pentru care se poate îmbunătăți traficul

Deoarece majoritatea furnizorilor de rețea dezvoltă rețele cu drumuri redundante, apare o necesitate clară de a permite ruterului de intrare să facă o decizie asupra direcționării pachetelor în rețea pe un anumit drum și să aplice o etichetă acelui pachet, etichetă ce indică celorlalte dispozitive drumul pe care trebuie să-l parcurgă pachetul de date. Această necesitate trebuie, de asemenea, să permită pachetelor ce au aceeași rețea IP destinație

să poată alege rute diferite, în locul rutelor determinate la nivelul protocoalelor de rutare. Această decizie ar trebui luată și pe baza altor factori decât adresa IP a destinației, cum ar fi: portul din care pachetul a provenit, ce nivel de QoS îi corespunde aceluși pachet etc.

În cadrul rutării convenționale IP, fiecare modificare a informației ce controlează direcționarea pachetelor este comunicată tuturor dispozitivelor din cadrul domeniului de rutare. Această modificare va presupune, de fiecare dată, o anumită perioadă de convergență conforma algoritmului de rutare corespunzător. În acest sens, se poate spune că există necesitatea apariției unui mecanism capabil să aducă o modificare în direcționarea unui pachet, fără să afecteze celelalte dispozitive din rețea. Orice modificare făcută prin intermediul acestui mecanism poate fi comunicată celorlalte dispozitive, prin distribuirea de noi etichete. Cum aceste dispozitive direcționează traficul pe baza etichetei atașate, modificarea apărută prin schimbarea etichetei nu va afecta toate echipamentele ce se ocupă cu direcționarea pachetelor.

3. Obiectivele MPLS

Dezvoltatorii protocolului MPLS doresc să standardizeze o tehnologie de bază, ce combină utilizarea schimbării de etichete din componenta de expediere, cu rutarea de la nivelul rețea din componenta de control. Pentru a îndeplini aceste obiective, grupul dezvoltatorilor MPLS (*MPLS Working Group*) trebuie să ofere o soluție ce satisface un anumit număr de cerințe, printre care:

- tehnologiile *core* MPLS trebuie să ofere suport pentru trafic *unicast* și *multicast*;
- MPLS trebuie să ruleze peste orice tehnologie Layer 2, nu doar ATM;
- MPLS trebuie să fie compatibile cu modelul *IETF ISM (Integrated Services Model)*, incluzând RSVP;
- MPLS trebuie să fie scalabil pentru a suporta creșterea continuă și accelerată a Internet-ului;
- MPLS trebuie să suporte facilități pentru diverse operații, administrare și mentenanță, cel puțin la fel de complexe precum cele din rețelele actuale IP.

4. Premise MPLS

Cel mai important beneficiu al implementării MPLS este acela că prezintă o bază ce permite furnizorilor de servicii Internet să ofere noi servicii ce nu pot fi suportate rapid de către tehnicile de rutare convenționale IP. Furnizorii de servicii Internet sunt puși în fața necesității de a oferi servicii de bază sporite, precum și noi servicii ce le disting față de competiție. MPLS permite furnizorilor de servicii să controleze costurile, să ofere niveluri mai bune pentru serviciile de bază, precum și noi servicii generatoare de profit.

Figura 3 ne arată modalitatea în care MPLS dovedește capacități superioare de rutare, prin oferirea de suport pentru aplicații ce necesită mai mult decât o simplă direcționare bazată pe destinație. Presupunând că ruterele din centrul rețelei se bazează pe direcționarea convențională IP de tip „longest-match”, în cazul unor pachete transmise de gazda X sau Y către gazda Z, pachetele urmăresc ruta 1 în interiorul rețelei deoarece acesta este cel mai scurt drum calculat de IGP.

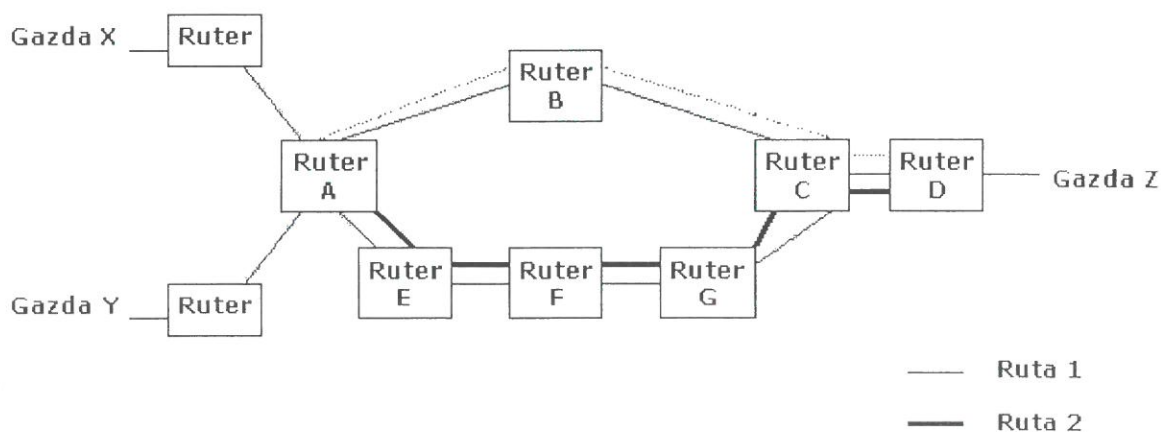


Figura 3. Îmbunătățirea rutării prin MPLS

Dacă administratorul de rețea a urmărit statisticile de trafic, presupunem că trebuie să folosească o politică de control al congestiei din ruterul B. Strategia folosită va reduce congestia din ruterul B, distribuind traficul către alte drumuri din rețea. Traficul de la gazda X, destinat gazdei Z, va urmări drumul cel mai scurt IGP, care este, în acest caz, ruta 1. Traficul dinspre gazda Y, destinat gazdei Z, va urmări alt drum, ruta 2. În cazul rutării convenționale IP, această politică nu poate fi implementată deoarece toate dirijările la ruterul A sunt bazate pe adresa de destinație a pachetului.

Dacă ruterele din mijlocul rețelei funcționează ca rutere LSR, este ușor de implementat o strategie de reducere a congestiei la ruterul LSR B. Administratorul de rețea va configura LSP 1 să urmărească ruta 1 și LSP 2 pe ruta 2. De asemenea, administratorul va configura LSR A astfel încât să direcționeze tot traficul de la gazda X, destinat gazdei Z în LSP 1, iar traficul recepționat de la gazda Y, pentru gazda Z, va fi îndrumat spre LSP 2. Posibilitatea de atribuire a unui FEC unui LSP oferă un control precis al traficului ce curge în rețeaua furnizorului de servicii.

Astfel, cu o planificare corespunzătoare, MPLS oferă ISP un deosebit control al traficului, rezultatul fiind o rețea operată în mod mai eficient, ce suportă mai multe servicii, și oferă flexibilitatea cerută de diversele cereri în schimbare ale consumatorilor.

5. Aplicații MPLS

Există trei aplicații cunoscute pentru MPLS în centrul marilor rețele ISP:

- controlul traficului;
- clase de servicii (Class of Service - CoS);
- rețele private virtuale (VPN).

5.1. Controlul traficului

Permite furnizorilor de servicii Internet să schimbe fluxurile de trafic de pe cel mai scurt drum calculat de IGP, pe un drum mai puțin congestionat de noduri din rețea (vezi figura 4). Controlul traficului reprezintă aplicația principală a MPLS datorită creșterii fără precedent a cererilor pentru resurse de rețea, natura critică a aplicațiilor IP și creșterea competitivității pe piața furnizorilor de servicii Internet. O soluție foarte apreciată, legată de controlul traficului, poate balansa cu succes traficul agregat din rețea folosindu-se diverse rute, legături, rutere și comutatoare din rețea astfel încât nici una dintre componente să nu fie suprautilizată sau subutilizată. Rezultatul este o rețea operată în mod eficient, ce oferă servicii ce pot fi anticipate.

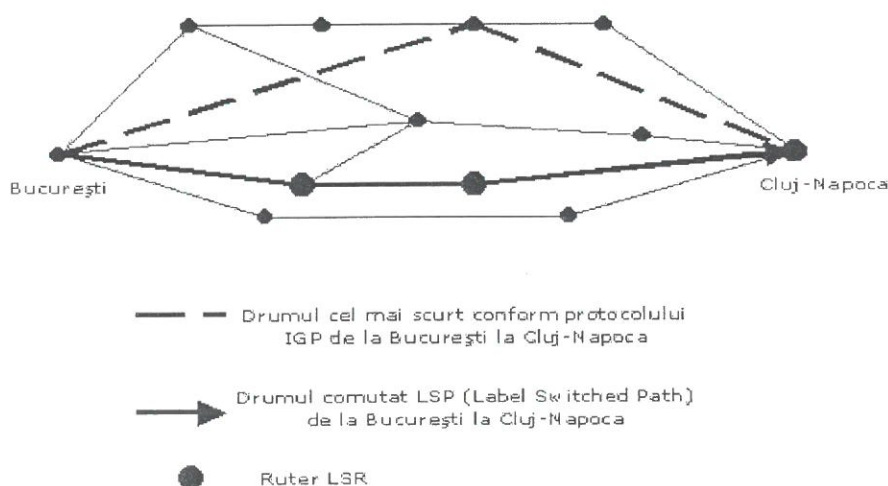


Figura 4. Folosirea drumului comutat LSP în locul drumului găsit de protocolul de rutare IGP în cadrul rețelei furnizorului de servicii

MPLS este potrivit pentru a fi folosit la îmbunătățirea performanțelor de trafic în rețele mari ISP datorită următoarelor motive:

- suportul pentru drumuri prestabilite permite administratorilor de rețele să specifice cu exactitate drumul fizic pe care un drum LSP îl urmărește de-a lungul rețelei furnizorului de servicii;
- pot fi dezvoltate și folosite statistici referitoare la rute LSP în scopul planificării și analizei pentru eventuala identificare a gâtuirilor din rețea și utilizarea trunchiurilor de rețea, precum și pentru o viitoare extindere a rețelei;
- rutarea bazată pe diverse restricții oferă posibilitatea furnizorilor de servicii să asigure niveluri de performanță prestabilite;
- soluția bazată pe MPLS poate rula peste rețele orientate pe pachet, nefiind limitată la infrastructuri ATM.

5.2. Clase de servicii

MPLS poate oferi un avantaj furnizorilor de servicii, pe măsură ce aceștia încep să ofere suport pentru servicii diferențiate (*DiffServ*). Modelul serviciilor diferențiate definește o varietate de mecanisme pentru împărțirea traficului într-un număr mic de clase de servicii. Abonații sunt motivați să folosească Internetul ca modalitate de transport pentru diferite aplicații variind de la transferuri de fișiere până la servicii sensibile la întârzieri, cum ar fi cele legate de voce sau video. Pentru satisfacerea cerințelor utilizatorilor, furnizorii de servicii Internet trebuie să adopte nu numai tactici de control al traficului, ci și tehnologii de clasificare a traficului.

Un ISP poate utiliza una dintre următoarele două abordări pentru a suporta clasa de servicii de direcționare:

- traficul ce se desfășoară printr-un anumit LSP poate fi introdus într-o coadă pentru transmisie pe fiecare interfață LSR, bazându-se pe setarea biților de precedență din header-ul MPLS;
- un ISP poate colecta mai multe LSP-uri pentru fiecare pereche de LSR-uri; fiecare LSP poate fi „aranjat” pentru a se oferi performanțele și lățimile de bandă garantate; capătul de distribuție (head-end) LSR poate plasa un trafic de prioritate ridicată într-un LSP, un trafic de prioritate medie în alt LSP, un trafic „best-effort” într-un al treilea LSP și un trafic „less-than-best-effort” într-un al 4-lea LSP.

MPLS oferă o mare flexibilitate între diferite tipuri de servicii ce pot fi oferite clienților. Biții de precedență sunt folosiți doar pentru a clasifica pachetele în clase de servicii. Cel care determină tipul specific de serviciu suportat de fiecare clasificare de servicii este furnizorul de servicii Internet.

5.3. Rețele private virtuale

O rețea privată virtuală (*VPN – Virtual Private Network*) simulează operarea unei rețele private de arie largă (WAN) peste rețeaua publică Internet. Pentru a oferi servicii viabile VPN clienților, un ISP trebuie să rezolve problema confidențialității datelor și să suporte adrese private IP, în cadrul rețelei VPN. MPLS oferă o soluție simplă și eficientă ambelor probleme, deoarece ia deciziile de direcționare bazându-se pe valoarea etichetei, și nu pe adresa de destinație din header-ul pachetului.

În mod tipic, rețelele VPN sunt construite folosind patru tipuri fundamentale de blocuri de construcție:

- ziduri de protecție care protejează fiecare site - client și oferă o interfață sigură către Internet;
- autentificarea ce asigură verificarea schimburilor de date dintre site-urile clienților și site-uri de la distanță, validate în prealabil;
- criptarea datelor pentru protecția acestora în timpul transportului de-a lungul Internetului;
- folosirea tunelurilor de încapsulare pentru a oferi un serviciu de transport multiprotocol și a permite folosirea spațiului de adresă privat IP, în cadrul unei rețele VPN.

MPLS permite ISP să ofere servicii de rețea VPN prin asigurarea unui mecanism de tunelizare simplu, eficient, flexibil și puternic (vezi figura 5). Un furnizor de servicii Internet poate construi o rețea VPN prin colectarea unei mulțimi de rute LSP pentru a oferi conectivitate între site-uri diferite din cadrul rețelei. Fiecare site VPN poate comunica către ISP o mulțime de prefixe ce pot fi atinse de la site-ul local. Apoi, sistemul de rutare al ISP-ului distribuie această informație fie încărcând etichete prin reactualizările protocolului de rutare, fie folosind un protocol de distribuție a etichetelor. Identificatorii VPN permit unui singur sistem de rutare să suporte mai multe rețele VPN, rute LSP, bazate pe o combinație între adresa de destinație a pachetului și informația de apartenență VPN.

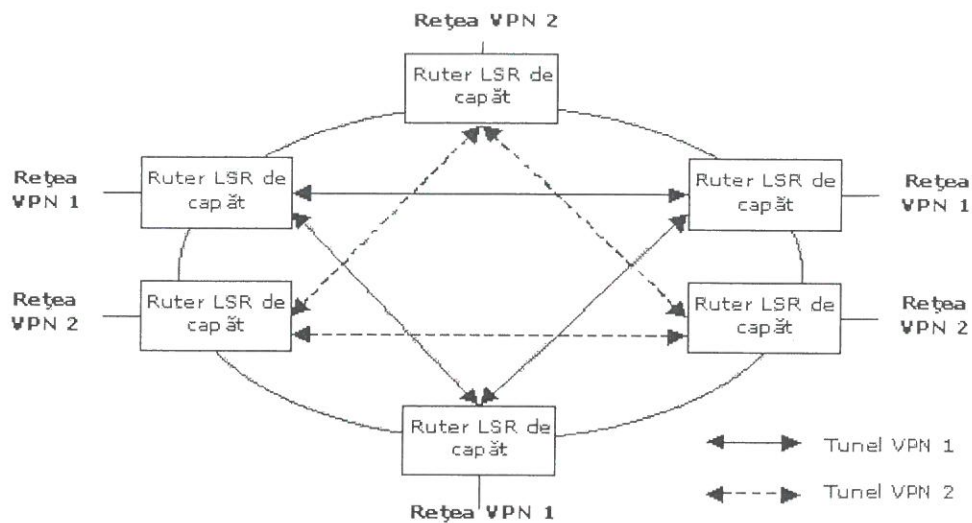


Figura 5. Facilități de VPN în dezvoltarea de rețele private virtuale

6. Concluzii

În condițiile impunerii unei dezvoltări rapide cu care se confruntă furnizorii de servicii Internet (sau, în general, furnizorii de servicii din domeniul comunicațiilor de date), MPLS oferă avantajul proiectării și operării mai simple și mai eficiente a rețelei, precum și o scalabilitate îmbunătățită.

MPLS reprezintă ultimul pas în evoluția tehnologiei de comutare multinivel, pentru centrul rețelei Internet. Bazat pe standarde IETF și luând în considerare experiența mai multor soluții de comutare multinivel, MPLS combină folosirea schimbului de etichete în cadrul componentei de direcționare cu rutarea IP, semnalizarea standardizată IP și protocoale de distribuție de etichete din componenta de control. Mai mult, MPLS a fost conceput special pentru a rula pe orice tehnologie de nivel de legătură (nu doar peste o structură ATM) facilitând, astfel, migrarea către noua generație de Internet, bazată pe infrastructuri de fibră optică SONET/WDM și IP/WDM.

Bibliografie

1. **BUSSCHBACH, P.:** The Internet Protocol and other things of interest. Prezentare la Broadband Networking Symposium, Barcelona, 1999
2. **BRENDAN, G.:** Gigabit Ethernet in the LAN and MAN. Prezentare la Broadband Networking Symposium, Barcelona, 1999
3. **PEPELNJAK I., GUICHARD J.:** Multiprotocol Label Switching and Virtual Private Networks, Cisco Press, 2000, 200p.
4. **RODEH O., BIRMAN K., HAYDEN M., DOLEV D.:** Dynamic Virtual Private Networks. Articol online, Cornell University, USA, 1998
5. **SEMERIA C.:** Multiprotocol Label Switching: Enhancing Routing in the New Public Network. Articol, Juniper Networks, 1999
6. **SZELAG C. R.:** Mission possible: Delivering QoS-Capable VPNs. Prezentare Lucent Technologies, 1999
7. **WHITE S.:** Next generation IP VPNs for service providers. Prezentare la Broadband Networking Symposium, Barcelona, 1999
8. **ZOTA R.D.:** Rețele de calculatoare în era Internet, Ed. Economică, 2002, 224 p.