

Noi tehnologii de comunicatie WAN: MPLS (1)

Lect.dr. Razvan Daniel ZOTA

Catedra de Informatica Economica, A.S.E. Bucuresti

zota@infosec.ase.ro

Tot mai des în ultimul timp în domeniul comunicatiilor este nevoie de echipamente ce combina facilitatile de comutare cu cele de rutare. Furnizorii de servicii de retea trebuie sa ofere clientilor atât servicii IP în retele ATM cât si în retele Frame Relay. Furnizorii de servicii Internet trebuie sa adauge facilitati si servicii "Layer 2" retelelor IP, precum suport pentru retele private virtuale si alte servicii legate de controlul traficului. Astfel a aparut MultiProtocol Label Switching (Comutarea multiprotocol cu etichete), un nou protocol standardizat (ce provine de la "Tag Switching" introdus de Cisco Systems) în care nodurile terminale adauga o eticheta unui pachet IP ce identifica drumul spre destinatie iar nodurile sunt directionate pe baza etichetei, fara inspectarea headerului initial.

Cuvinte cheie: tehnologii de comunicatie, calitatea serviciilor, comutare multiprotocol, retele ATM, controlul traficului, integrare IP - ATM.

1 Introducere

MPLS are doua mari avantaje:

- Permite controlul traficului;
- Este potrivit pentru retele private virtuale, din moment ce eticheta ascunde adresa privata a pachetelor ce sunt trimise de la un sediu la altul al unei firme.

MPLS permite unui comutator ATM sa participe la directionarea IP si ofera comutari IP folosind o abordare orientata pe conexiune, MPLS înseamna îmbunatatirea rutarii din retea publica.

Activitatile din ce în ce mai crescând ale Furnizorilor de Servicii Internet (**ISP** – Internet Service Provider) impulsioneaza avansarile rapide ale tehnologiei în domeniul telecomunicatiilor. La mijlocul anilor 90 modelul IP-over-ATM a creat multor furnizori de servicii Internet posibilitatea de a oferi o tehnologie performanta pentru traficul de retea.

Cresterea retelei Internet si evolutia tehnologiei **WDM** (Wavelength Division Multiplexing – Multiplexarea lungimilor de unda) la nivel de fibra optica au condus la aparitia unei alternative viabile pentru ATM prin multiplexarea multipla a serviciilor (fata de circuite individuale). De asemenea, ruterele coloanelor vertebrale

Internet depasesc ca viteza comutatoarele ATM, odinioara considerate foarte rapide si cu o latime de banda foarte mare. MPLS ofera mecanisme mai simple pentru controlul traficului orientat pe pachete si multifunctionalitate împreuna cu avantajul important al scalabilitatii. Acest concept a aparut din dorinta IETF de a standardiza un numar de solutii de comutare multinivel, propuse initial la mijlocul anilor 90.

MPLS reprezinta ultimul pas facut în evolutia tehnologiilor de comutare/rutare pentru Internet, folosind o solutie ce integreaza atât controlul rutarii IP cât si comutarea de la nivelul legaturii de date (nivelul 2 din modelul OSI). Mai mult, MPLS ofera bazele unor servicii de rutare avansate, rezolvând o serie de probleme:

- Se adreseaza problemelor legate de scalabilitate legate de modelul IP-over-ATM;
- Reduce complexitatea operatiilor din retea;
- Faciliteaza aparitia de noi posibilitati de rutare ce îmbunatatesc tehnicile de rutare IP existente;
- Ofera o solutie standardizata ce are a avantajul interoperabilitatii între diversi furnizori de produse si servicii.

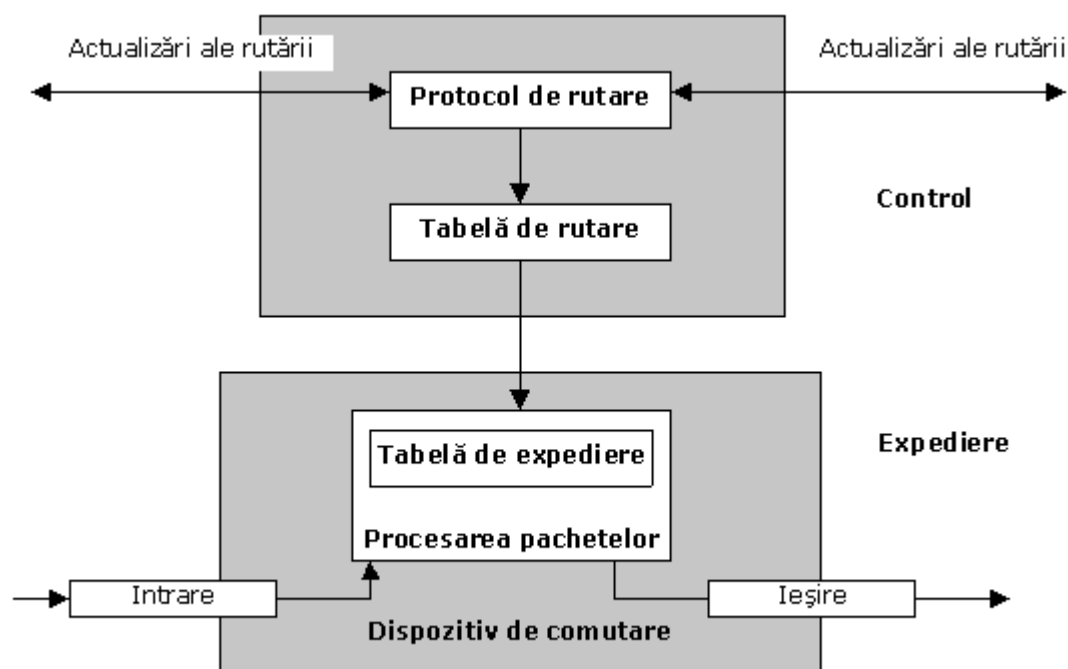


Fig.1. Componentele functionale ale rutării

2. Evolutia comutarii multinivel în Internet

Comutarea multinivel presupune integrarea comutării de la nivelul 2 (L2) cu rutarea de nivel 3 (L3); în zilele noastre, unele rețele ISP sunt contruite folosind un model de suprapunere ("overlay model") în care o topologie logica rutata IP ruleaza (independent) peste o topologie de L2 comutata (ATM sau Frame Relay). Comutatoarele L2 ofera o conectivitate de mare viteza, în timp ce ruterele IP de la capat (interconectate într-o topologie mesh de circuite virtuale L2) ofera inteligenta trimiterii spre destinatie a pachetelor IP. Greutatile acestei abordari apar prin complexitatea maparii între doua arhitecturi diferite ce necesita definirea si întretinerea de topologii separate, spatii de adrese, protocoale de rutare, protocoale de semnalizare si scheme de alocare a resurselor. Necesitatea impunerii solutiilor de comutare multinivel si a MPLS apare ca urmare a cresterii Internet-ului si a nevoii de reducere a complexitatii prin combinarea comutării L2 si rutării L3 într-o solutie completa integrata.

Exista doua concepte fundamentale comune între solutiile de comutare multinivel în general, si MPLS: separarea componentelor de transmitere si control si algoritmul de transmitere de schimb de atichete (label-swapping).

3. Separarea componentelor de transmitere si control

Toate solutiile de comutare multinivel (inclusiv MPLS) sunt compuse din doua blocuri functionale distincte: o componenta de control si o componenta de transmitere (vezi figura 1). Componenta de control foloseste protocoale de rutare standard (OSPF, IS-IS, BGP-4) pentru a schimba informatii cu alte rutere în scopul mentinerii si actualizarii tabelelor de rutare. În momentul receptionarii unui pachet, componenta de expediere cauta în tabela de expedite creată de componenta de control pentru a gasi o solutie de rutare pentru fiecare pachet. Acest lucru se face de catre componenta de expediere prin examinarea informatiei continuta în header-ul pachetului, cautarea în tabela de expedite a unui corespondent si directionarea pachetului de la intrare la iesire prin dispozitivul de

comutare al sistemului (switching fabric). Prin separarea componentei de control de componenta de expediere, fiecare componenta poate fi modificata si dezvoltata în mod independent. Singura cerinta în acest caz este aceea ca sa aiba loc în continuare comunicarea dintre ele prin consultarea tabelului de rutare a pachetelor. Astfel, prin dezvoltarea unui simplu algoritm de expeditie (numit comutarea etichetelor – label switching) se pot oferi noi mecanisme de expediere necesare suplinirii de servicii (profitabile) pentru consumatori.

4. Algoritmul de expeditie cu schimb de etichete (label-swapping)

Componenta de expediere a majoritatii solutiilor de comutare multinivel este bazata pe algoritmul de expediere cu schimb de etichete, fiind acelasi algoritm folosit pentru a expedia datele si în comutatoarele ATM sau Frame Relay. Semnalizarea si distributia etichetelor sunt fundamentale în acest algoritm.

O eticheta este o valoare de lungime fixa (scurta) ce apare într-un header de pachet pentru a identifica o clasa de echivalenta a expedierii (**Forwarding Equivalence Class - FEC**). Ea este echivalenta cu un identificator de conexiune, precum un VPI/VCI la ATM sau un DLCI la Frame Relay, deoarece nu are decât semnificatie de legatura locala, nu codifica informatia din header-ul nivelului retea si mapeaza

traficul catre un anumit FEC. Un FEC este o multime de pachete ce sunt trimise de-a lungul aceleiasi cai în cadrul unei retele chiar daca ultimele destinatii ale acestora difera între ele. Spre exemplu, în rutarea conventionala longest-match IP ("cea mai lunga potrivire"), multimea de pachete unicast ale caror adrese destinatie ce mapeaza un prefix de adresa IP este un exemplu de FEC.

Algoritmul de expediere cu schimb de etichetele necesita clasificarea pachetelor la punctul de intrare al retelei pentru atribuirea unei etichete initiale fiecarui pachet. În figura 2 comutatorul de intrare primeste un pachet fara eticheta cu o adresa destinatie 193.2.3.5. Comutatorul de etichete (label switch) face o cautare în tabela de rutare conform algoritmului longest-match si mapeaza pachetul catre un FEC – 193.2/16. Comutatorul de etichete de intrare atribuie atunci o eticheta (cu valoarea 5) pachetului si îl expediază catre urmatorul hop din drumul comutat (LSP – Label Switched Path). Un drum LSP este echivalent din punct de vedere functional cu un circuit virtual deoarece defineste un drum intrare-iesire printr-o retea ce este respectat de toate pachetele ce au aceeasi clasa de echivalenta FEC. Prima comutare de pachete într-un drum LSP se numeste comutare de intrare (sau head-end) iar ultima comutare dintr-un drum LSP are denumirea de comutare de iesire.

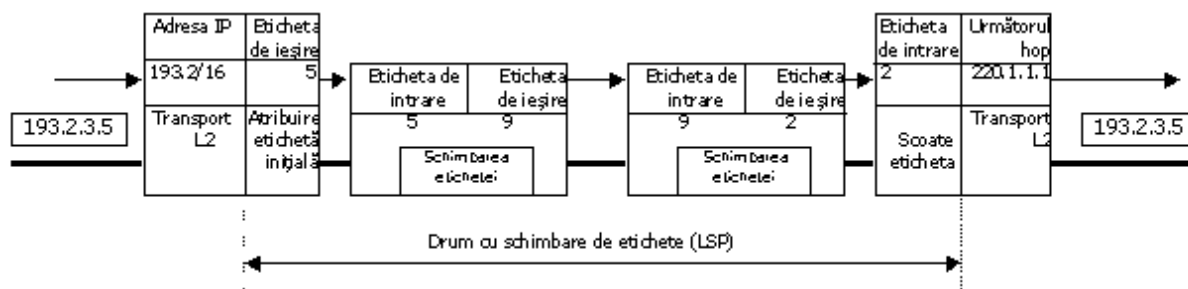


Fig. 2. Circuitul unui pachet pe un drum cu schimbare de etichete (LSP)

La nivelul retelei, comutarea etichetelor nu tine seama de header-ul nivelului retea al pachetului si-l trimite pur si simplu mai departe folosind algoritmul de schimbare

de etichete. Atunci când un pachet etichetat ajunge la un comutator, componenta de expediere foloseste numarul portului de intrare si eticheta pentru a face

o cautare exacta în tabela de expeditie. Atunci când se gaseste o valoare potrivita, componenta de expediere ia în calcul eticheta destinatie, interfata destinatie si adresa urmatorului hop din tabela de expeditie. În continuare, aceasta componenta înlocuieste eticheta de intrare cu cea de iesire si directioneaza pachetul catre interfata de iesire pentru transmiterea catre urmatorul hop din LSP.

Atunci când pachetul etichetat ajunge la comutatorul de intrare, componenta de expediere cauta în tabela de expeditie; daca urmatorul hop nu este un comutator de etichete, comutarea de intrare renunta la eticheta si transmite pachetul mai departe folosind expedierea conventionala IP de tip longest-match.

Schimbarea de etichete aduce o serie de beneficii importante în comparatie cu rutarea conventionala la nivel de retea hop-by-hop:

- Se ofera unui furnizor de servicii o mare flexibilitate în sensul în care atribuie pachete claselor de echivalenta FEC. De exemplu, pentru a simula o expediere conventionala IP, comutarea etichetei de intrare poate fi configurata pentru a atribui un pachet unui FEC bazându-se pe adresa de destinatie. Totusi, pachetele pot fi atribuite claselor FEC luându-se în considerare o serie larga de criterii – adresa sursa, tipul de aplicatie, punctul de intrare într-o retea cu schimbare de etichete, punctul de iesire dintr-o astfel de retea, sau alte combinatii;
- Furnizorii de servicii pot construi LSP-uri configurate dupa dorinta ce suporta cerinte de aplicatii specifice. Aceste drumuri pot fi proiectate pentru a se minimiza numarul de hopuri, a satisface anumite latimi de banda, depasirea momentelor de congestie, fortarea traficului de retea prin anumite noduri sau legaturi din retea.
- Cea mai importanta contributie a acestui algoritm o constituie capacitatea de a prelua orice tip de trafic utilizator, pe care îl eticheteaza cu un FEC, mapeaza FEC unui LSP ce a fost conceput specific pentru a satisface cerintele FEC. Dezvoltarea tehnologiilor bazate pe conceptele de transmi-

tere pe baza comutarii de etichete ofera unui ISP un control precis al traficului din propriile retele. Acest nivel nemaiafins de control da nastere unei retele ce opereaza mai eficient si poate fi controlata si depanata mai usor.

5. Caracteristici comune ale solutiilor de comutare multinivel.

Solutii de comutare multinivel

Solutiile se bazeaza, în general, pe doua abordari distincte în ceea ce priveste atribuirea si distribuirea legaturilor de etichete pentru stabilirea LSP-urilor:

- *Modelul condus de date*
- *Modelul condus de control*

În cadrul **modelului condus de date**, legaturile de etichete sunt create odata cu primirea pachetelor de date. Un flux este o secventa de pachete ce au aceleasi adrese IP sursa si destinatie si numere de port TCP sau UDP. Un comutator multinivel poate crea o legatura de eticheta imediat ce observa primul pachet dintr-un flux de trafic sau poate astepta un anumit numar de pachete din cadrul fluxului. Avantajul asteptarii unui numar de pachete asigura faptul ca fluxul este suficient de lung pentru a determina atribuirea si distribuirea unei etichete. Solutii ce implementeaza acest model sunt IP Switching (Ipsilon) si Cell Switching Router (Toshiba). MPLS nu suporta modelul condus de date.

Avantajul acestui model este acela ca o legatura de eticheta este creata doar atunci când exista un flux de date ce foloseste legarea prin etichete. Limitarile modelului sunt date de numarul foarte mare de fluxuri individuale din centrul unei retele:

- Fiecare comutator multinivel trebuie sa ofere o clasificare complicata de înalta performanta capabila sa identifice fluxurile de trafic;
- În mod normal exista o latentă între recunoasterea unui flux si atribuirea unei etichete acelui flux. Aceasta înseamna, mai departe, ca fiecare comutator multinivel trebuie sa suporte dirijarea IP longest-match în timpul fazei de setup astfel încât

pachetele care nu au fost asociate nici unui flux sa poata fi dirijate si nu distruse;

- Cantitatea de trafic a controlului necesara distribuirii legaturilor de etichete este direct proportionala cu numarul de fluxuri;
- Prezenta unui numar semnificativ de fluxuri cu durata mica de viata poate duce la greutatea asupra operatiilor ce se desfasoara în retea.

Modelul condus de control (control-driven) considera o abordare diferita a fenomenului asocierii de etichete. Astfel, legaturile prin etichete sunt create atunci când se primește informatia de control. Etichetele sunt atribuite ca raspuns al procesarii normale a traficului protocolului de rutare, precum traficul RSVP sau ca raspuns al unei configuratii statice. Solutiile de comutare multinivel ce au implementat modelul condus de control sunt Tag Switching (Cisco Systems), IP Navigator (Ascend/Lucent) si ARIS (IBM). MPLS foloseste, de asemenea, acest model. Printre avantajele modelului enumeram:

- Etichetele sunt atribuite si distribuite înainte de sosirea traficului de date utilizator. Aceasta presupune faptul ca daca

exista o ruta în tabela de dirijare IP, o eticheta a fost deja alocata acestei rute, astfel încât la sosirea la comutatorul multi-nivel, schimbul de etichete sa se faca imediat;

- Scalabilitatea este considerabil îmbunatatita în cadrul acestui model, deoarece numarul de drumuri comutate este direct proportional cu numarul de intrari în tabela de dirijare IP, nu cu numarul de fluxuri individuale;

– În cadrul unei topologii stabile, limita maxima pentru atribuirea si distribuirea de etichete este mai mica decât în cazul modelului data-driven deoarece drumurile comutate cu etichetese stabilesc doar în cazul schimbarii topologiei sau în momentul sosirii traficului de control, nu odata cu sosirea fiecarui "nou" flux de date;

- Fiecare pachet din cadrul unui flux este comutat cu etichete si nu doar ultimul pachet din cadrul fluxului ca în modelul data-driven.

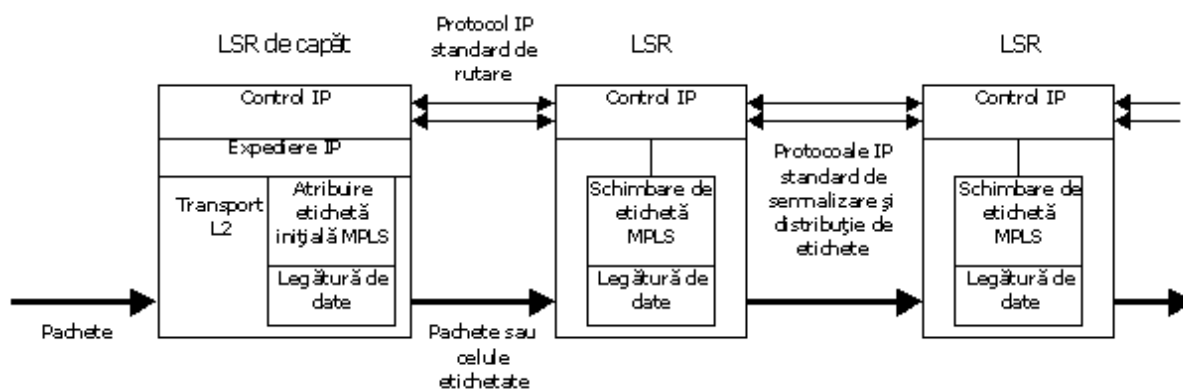


Fig.3. Schimbare de etichete multiprotocol (MPLS)

6. Caracteristici MPLS

MPLS foloseste modelul control-driven pentru initierea procesului de atribuire si distributie de legaturi de etichete în cazul stabilirii LSP-urilor (Label-switched path). Drumurile LSP sunt simple în natura (traficul curge într-o singura directie de la

intrare spre iesire), traficul duplex necesita doua LSP, câte unul pentru fiecare directie. Un LSP este creat prin concatenarea mai multor hopuri comutate cu etichete, permitând unui pachet sa fie transmis mai departe de la un ruter cu comutare de etichete (LSR – Label Switching Router) catre alt

LSR de-a lungul domeniului MPLS. Un ruter LSR este un ruter ce suporta transmiterea mai departe a datelor pe baza MPLS.

Componenta de control MPLS este centrata în jurul functionalitatii IP, ceea ce este similar cu solutiile proprietare de comutare multinivel (figura 3). Totusi, MPLS defineste noi protocoale standard bazate IP pentru semnalizare si distributie de etichete, precum si extensii protocoalelor deja existente pentru a oferi interoperabilitate între diversi producatori. MPLS nu implementeaza nici un protocol de semnalizare sau rutare al organizatiei ATM Forum, astfel încât se elimina complexitatea coordonarii a doua arhitecturi diferite de protocoale. În acest mod, MPLS aduce contri-

butii benefice Internet-ului orientat pe pachet.

Componenta de expediere MPLS se bazeaza pe algoritmul de schimb de etichete (LSA - label-swapping algorithm). Daca tehnologia L2 suporta un câmp de eticheta (precum este în cazul ATM VPI/VCI sau câmpurile DLCI în Frame Relay), câmpul de eticheta nativa încapsuleaza eticheta MPLS. În caz contrar, eticheta MPLS este încapsulata într-un header standardizat MPLS inserat între header-ele L2 si IP (figura 4). Header-ul MPLS permite oricarei tehnologii de legatura între niveluri sa poarte o eticheta MPLS pentru a beneficia de schimbarea de etichete de-a lungul unui LSP.

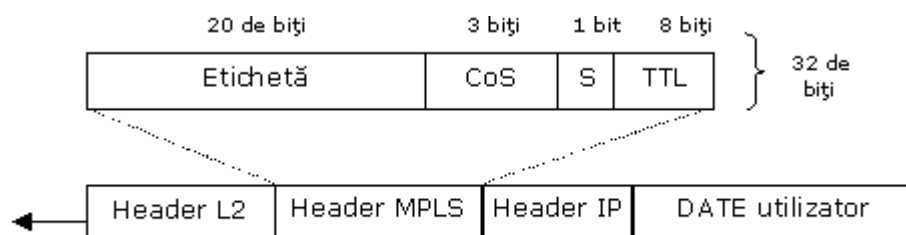


Fig. 4. Header-ul MPLS

Header-ul MPLS contine urmatoarele câmpuri:

- Câmpul eticheta (20 de biti) ce reprezinta valoarea actuala a etichetei MPLS;
- Câmpul CoS (3 biti) poate afecta algoritmi de asezare în coada de asteptare si cei de înlaturare de elemente aplicati pachetului în timp ce este transmis de-a lungul retelei;
- Câmpul stiva (S) suporta o stiva de etichete ierarhica;
- Câmpul TTL (TTL – Time-To-Live – Timp de viata) ofera compatibilitate cu câmpul TTL IP conventional.

7. Obiectivele MPLS

Dezvoltatorii MPLS doresc sa standardizeze o tehnologie de baza ce combina utilizarea schimbarii de etichete din componenta de expediere cu rutarea de la nivelul retea din componenta de control. Pentru a

îndeplini aceste obiective, grupul dezvoltatorilor MPLS trebuie sa ofere o solutie ce satisface un anumit numar de cerinte, printre care:

- Tehnologiile MPLS de centru trebuie sa suporte expedierea fluxurilor de trafic atât unicast cât si multicast;
- MPLS trebuie sa ruleze peste orice tehnologie de L2, nu doar ATM;
- MPLS trebuie sa fie compatibile cu modelul IETF ISM (Modelul serviciilor integrate . Integrated Services Model), incluzând RSVP;
- MPLS trebuie sa fie scalabil pentru a suporta cresterea continua si accelerata a Internet-ului;
- MPLS trebuie sa suporte facilitati pentru diverse operatii, administrare si mentenanta cel puțin la fel de complexe precum cele din retelele actuale IP.

8. Premise MPLS

Beneficiul cel mai important din implementarea MPLS este acela ca ofera o fundatie ce permite furnizorilor de servicii Internet sa furnizeze noi servicii ce nu pot fi suportate rapid de catre tehnicile de rutare conventionale IP. Furnizorii de servicii Internet sunt pusi în fata necesitatii

de a oferi servicii de baza sporite, precum si noi servicii ce le disting fata de competitori. MPLS permite furnizorilor de servicii sa controleze costurile, sa ofere nivelurile

mai bune pentru serviciile de baza precum si noi servicii generatoare de profit.

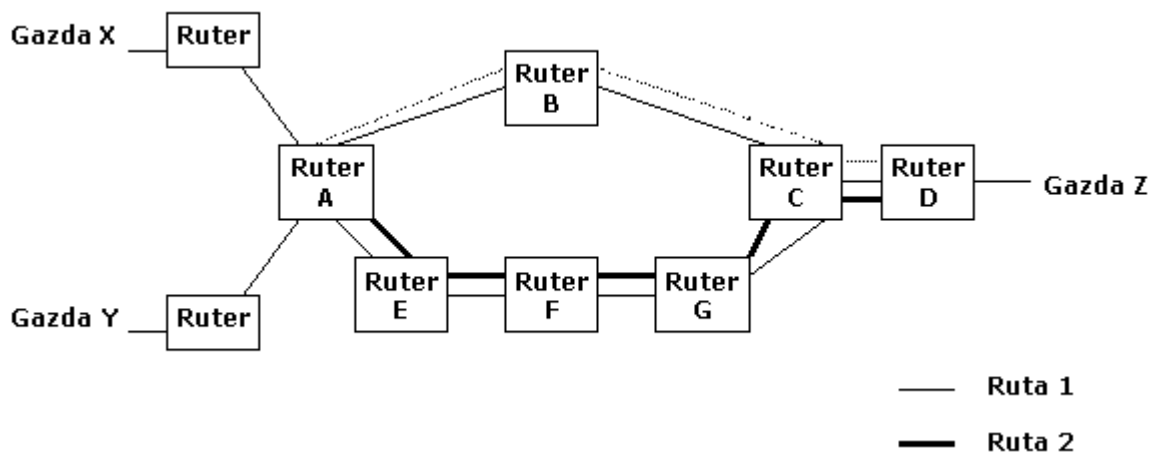


Fig.5. Îmbunatatirea rutarii prin MPLS

Figura 5 ne arata modalitatea în care MPLS dovedeste capacitati superioare de rutare prin suportarea aplicatiilor ce necesita mai mult decât o simpla directionare bazata pe destinatie. Presupunând ca ruterile din centrul rețelei se bazeaza pe directionarea conventionala IP de tip "longest-match", în cazul unor pachete transmise de gazda X sau de gazda Y catre gazda Z, pachetele urmaresc ruta 1 în interiorul rețelei deoarece acesta este cel mai scurt drum calculat de IGP.

Daca administratorul de retea a urmarit statisticile de trafic, presupunem ca trebuie sa foloseasca o politica de control a congestiei din ruterul B. Strategia folosita va reduce congestia din ruterul B, distribuind traficul catre alte drumuri din retea. Traficul de la gazda X destinat gazdei Z va urmari drumul cel mai scurt IGP, care este, în acest caz, ruta 1. Traficul dinspre gazda Y destinat gazdei Z va urmari alt drum, ruta 2. În cazul rutarii conventionale IP aceasta politica nu poate fi implementata

deoarece toate dirijarile la ruterul A sunt bazate pe adresa de destinatie a pachetului. Daca ruterile din mijlocul rețelei functioneaza ca LSR-uri, este usor de implementat o strategie de reducere a congestiei la ruterul LSR B. Administratorul de retea va configura LSP 1 sa urmareasca ruta 1 si LSP 2 pe ruta 2. De asemenea, administratorul va configura LSR A astfel încât sa directioneze tot traficul de la gazda X destinat gazdei Z în LSP 1, iar traficul receptionat de la gazda Y pentru gazda Z va fi îndrumat spre LSP 2. Posibilitatea de atribuire a unui FEC unui LSP ofera un control precis al traficului ce curge în rețeaua furnizorului de servicii.

Astfel, cu o planificare corespunzatoare, MPLS ofera ISP un deosebit control al traficului, rezultatul fiind o retea operata în mod mai eficient, ce suporta mai multe servicii si ofera flexibilitatea ceruta de diversele cereri în schimbare ale consumatorilor.

Bibliografie

- MPLS and IP Quality of Service In Service Provider ATM Networks, White Paper, Cisco Systems, 2000
- Multiprotocol Label Switching: Enhancing Routing in the New Public Network - Semeria Chuck, Juniper Networks, 1999
- Retele de calculatoare – Adrian Vasilescu, Editura Infosec, Bucuresti, 1999
- L3-enabled ATM Solutions for Voice/Video, MPLS/VPN, QoS and Multicast – Indrajit Roy, Cisco Systems, Inc. 2000
- CCIE Fundamentals: Network Design and Case Studies, Second Edition, Cisco Press, 2000
- <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/idx4/nd2008.htm>