MPLS

Moldován István

moldovan@tmit.bme.hu

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
TÁVKÖZLÉSI ÉS MÉDIAINFORMATIKAI TANSZÉK

Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

MPLS

- MPLS: MultiProtocol Label Switching
- Alapvető cél
  - A vezérlés és továbbítás szétválasztása
- „Label-switching” paradigma
  - Az L2 címkekapcsolás és az L3 routing összekrapcsolása

MPLS célok

Az MPLS kiterjeszti a hagyományos IP-t a következő területeken::

- Egyszerűsített továbbítás
- Hatékony Explicit útvonalak
- Traffic Engineering
- QoS Routing
- A csomagok nem triviális módon történő útvonalakba rendezése

MPLS előnyei

Összehasonlítva a létező IP gerinchálózati és aggregációs technológiákkal, az MPLS a következő előnyökkel rendelkezik:

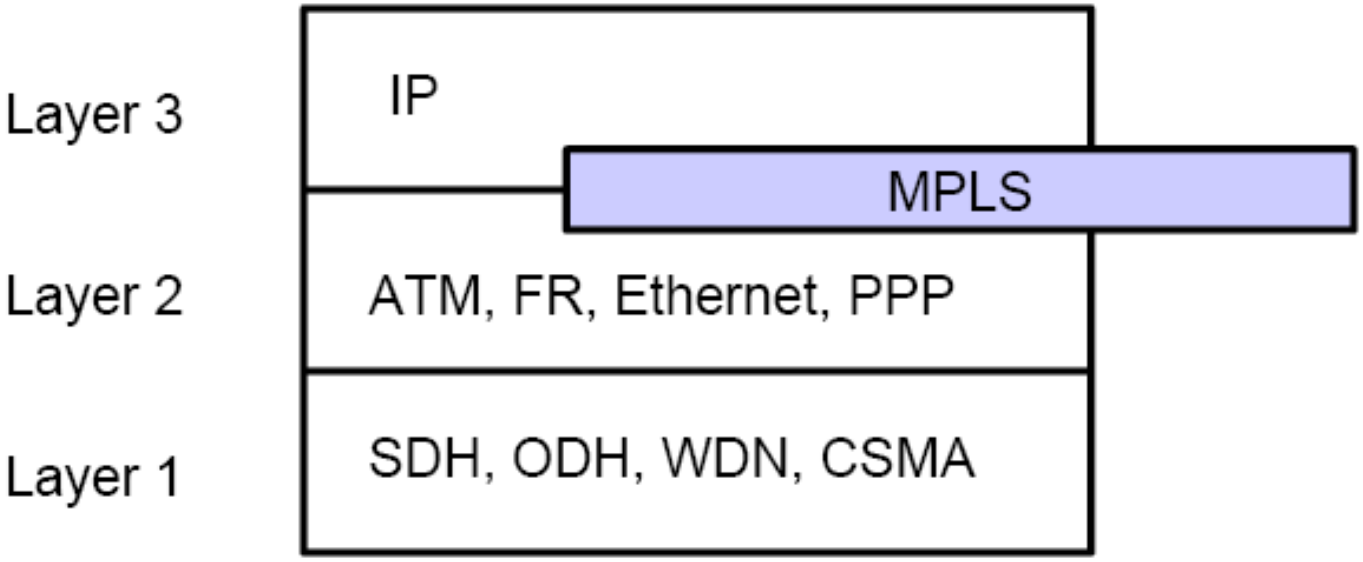
- Az L2 réteg teljesítményét nyújtja
- Ugyanakkor L3 rétegbeli kapcsolatot és kapcsolódó szolgáltatásokat
- Növeli az teljesítmény/ár arányát a hálózati szintű útvonalválasztásnak
- Skálázhatóság

MPLS előnyök folyt.

- Traffic engineering lehetőségek
- Szolgáltatások QoS garanciáinak biztosítása
- Kiküszöböli az L2 és L3 címek és routing információk koordinálását

Helye a Protocol Stack-ban

- MPLS az IP és Layer 2 között van
  - Az L2 protokollok széles körét támogatja
  - Támogatja a felsőbb szintű mechanizmusokat is



Label Switching

- Decomposition of network layer routing into control and forwarding components **applicable**
- Label switching forwarding component algorithm uses
  - forwarding table
  - label carried in the packet
- What is a Label ?
  - Short fixed length entity

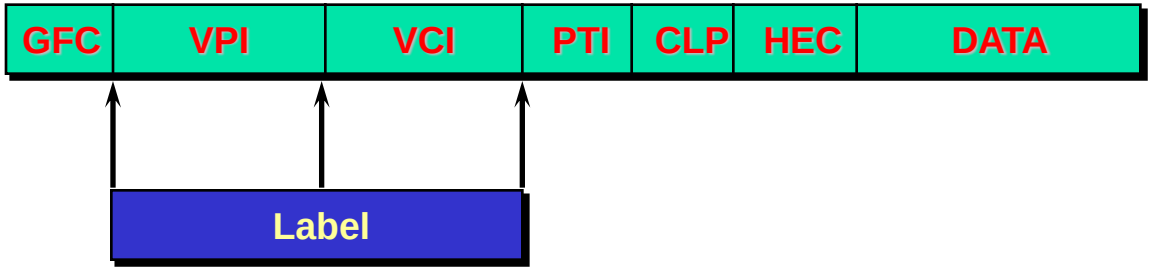
Label – címke hordozása

- Bizonyos L2 technológiák képesek a címkét a saját fejlécük részeként kezelni
  - **pl. VPI/VCI az ATM esetén, DLCI a FR esetén vagy MPLS címke PPP/Ethernet esetén**
- Azon L2 rétegek amelyek nem támogatják a címkéket egy külön „shim” fejlécben hordozzák

Link layer fejléc	“Shim” label fejléc	Network layer fejléc	Network layer fejléc

Beágyazás

ATM Cella Fejléc



PPP Fejléc
(Packet over SONET/SDH)

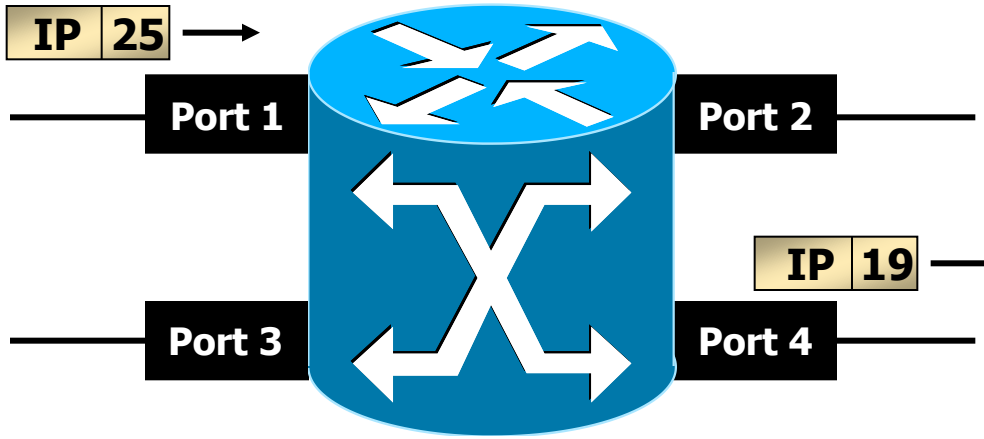
LAN MAC Label Fejléc

Az MPLS Shim Header

- A címke - Label (Shim Header) valójában egy is Label Stack Entry szekvencia, azaz egy vagy több bejegyzés
- Minden Label Stack Entry 4 byte (32 bit) hosszú
- 20 Bit fenntartva a címke azonosítónak (Label Identifier) – ez a „Label”, címke

Label : **Label value** (0 to 15 are reserved for special use)
Exp : **Experimental Use**
S : **Bottom of Stack** (set to 1 for the last entry in the label)
TTL : **Time To Live**

Továbbítás - kapcsolás



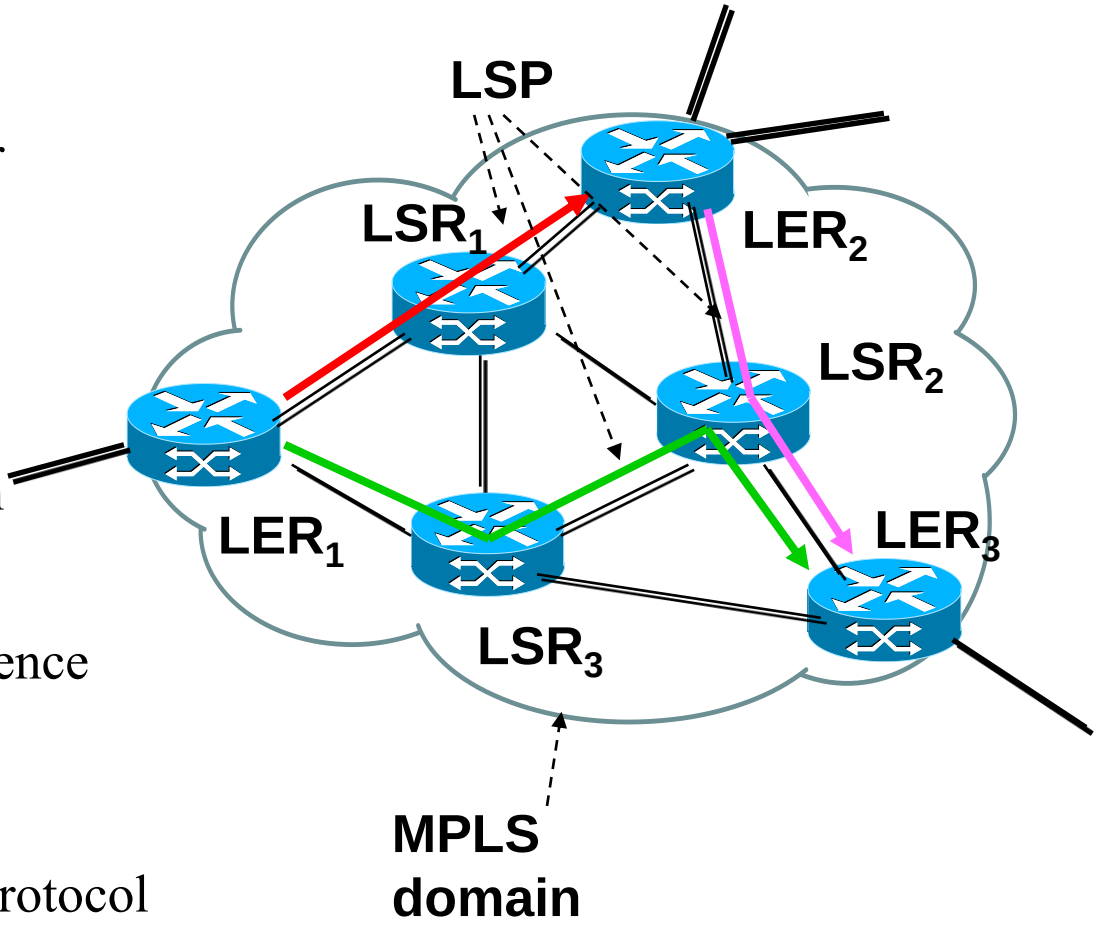
Connection Table

In (port, label)	Out (port, label)	Label Operation
(1, 22)	(2, 17)	Swap
(1, 24)	(3, 17)	Swap
(1, 25)	(4, 19)	Swap
(2, 23)	(3, 12)	Swap

- Label Swapping
  - A kapcsolat tábla tartalmazza a bejegyzéseket („Connection table”)
  - Exakt találat keresés (nem mint IP routing esetén)
  - Bemenet: Input (port, label) meghatározza:
    - Címke művelet
    - Kimenet - Output(port, label)
  - Hasonló továbbítást használ az ATM és Frame Relay is

MPLS Komponensek

- LSR
  - » Label Switch Router
- LER
  - » Label Edge Router
- LSP
  - » Label Switched Path
- FEC
  - » Forwarding Equivalence Class
- LDP
  - » Label Distribution Protocol



Label Edge Router - LER

- Az MPLS hálózat szélén található és ő rendeli hozzá/veszi le a címkéket a csomagokról

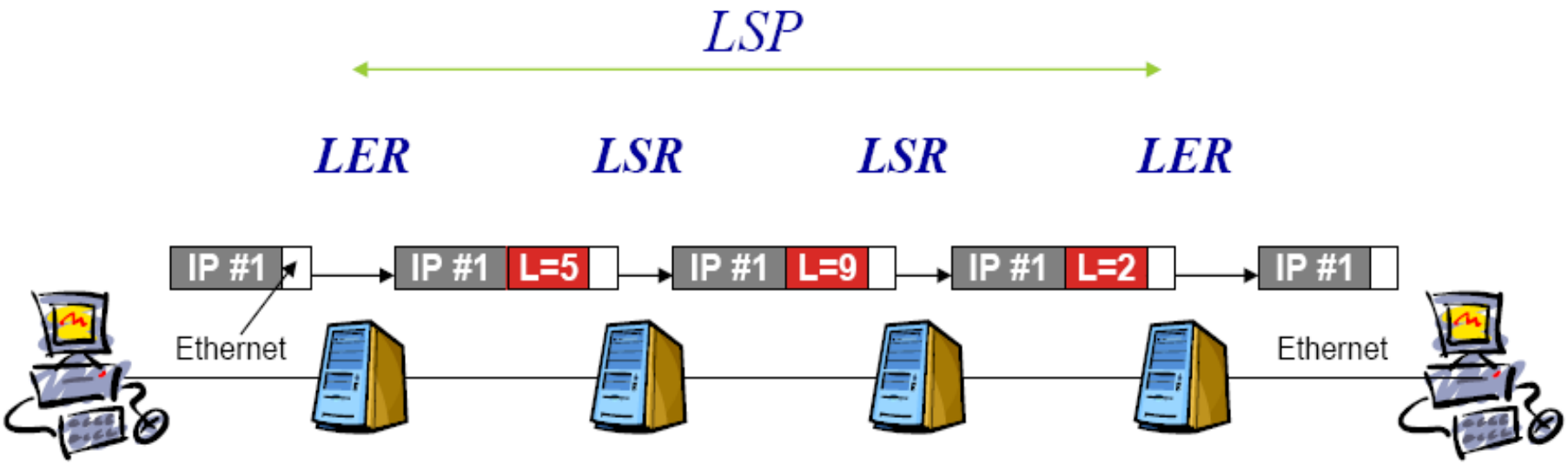
- Többféle port típus használatát teszi lehetővé (pl. frame relay, ATM, és Ethernet).

Label Switching Router - LSR

- Nagysebességű kapcsolók amelyek a hálózat magját alkotják
- Címkekapcsolást végeznek nagy sebességgel

- ATM kapcsolók használhatók LSR-ként hardver változtatás nélkül. Az ATM/MPLC címkekapcsolás megegyezik az ATM VP/VC kapcsolással.

A LER & LSR-ek helyei



IP Addr	Out Label
192.4/16	5
Layer 2 Transport	**Assign init label**

In Label	Out Label
5	9
Label Swapping	

In Label	Out Label
9	2
Label Swapping	

In Label	Next Hop
2	192.4/16
Remove Label	Layer 2 Transport

"ROUTE AT EDGE, SWITCH IN CORE"

Forward Equivalence Class - FEC

- Olyan csomagcsoportok összessége, amelyeket a hálózatban ugyanúgy kezelünk (útvonal, QoS garanciák)
  - Például ugyanazt a szolgáltatást igénybe vevő felhasználók forgalma

- Egy csomag FEC-hez rendelését egyszer tesszük meg (amikor beérkezik a hálózatba)

FEC Osztályozás

- Egy csomagot a következő kritériumok szerint tudunk FEC –hez rendelni:
  - destination IP address,
  - source IP address,
  - TCP/UDP port,
  - Inter-AS-MPLS esetén: Source-AS and Dest-AS,
  - class of service,
  - applikáció,
  - …
  - Az előzőek kombinációi

Ingress Label	FEC	Egress Label
6	138.120.6/24 - xxxx	9

- FEC – manuálisan beállítva az operátor által
- Egy FEC –hez legalább egy címke lesz rendelve

Ingress Label	FEC	Attribute	Egress Label
6	138.120.6/24 - xxxx	A	9
6	138.120.6/24 - xxxx	B	12

Label-Switched Paths - LSPs

- Egy címkekapcsolt útvonal, melyet a kommunikáció megkezdése előtt létre kell hozni.
- Egy LSP lehet egy FEC reprezentációja

LSP Részletek

- Az MPLS két lehetőséget nyújt az LSP-k kihúzására
  - hop-by-hop routing – IP routing
    - Minden LSD individuálisan választja ki a következő célt. Az LSR bármilyen útvonalválasztó algoritmust használhat.
  - explicit routing
    - A source-routinghoz hasonló. Az Ingress LSR (vagy egy központi entitás) meghatározza az útvonalat adó csomópontok listáját

- Egy LSP amely egy FEC-hez van rendelve mindig egyirányú. A visszafele irányú forgalom számára külön LSP szükséges.

Hogy „húzunk ki” egy LSP-t?

- Label Distribution – címke kiosztás
- Label Distribution – protokoll segítségével
- Label Distribution ami az IGP útvonalát követi
  - Label Distribution Protocol (LDP)
- Label Distribution explicit útvonalak mentén:
  - Explicit útvonalon való kihúzás
  - Sávszélesség foglalás (opcionális)
  - Class of Service (DiffServ stílusban)
- Label Distribution BGP használatával
  - Az AS-ek közötti BGP/MPLS VPN-ek megvalósításához

MPLS jelzési protokollok

- Az IETF MPLS architektúra nem feltételez egyetlen címkekiosztó protokollt
- LDP
  - Ugyanazt az útvonalat követi mint az IGP, vagy explicit útvonalat
- RSVP
  - Explicit útvonalválasztás – megszorításokkal
    - Constraint based routing – egyéb (pl. QoS) paraméterek figyelembe vétele
  - Traffic Engineering és Fast Reroute
- BGP
  - Címkekiosztás IPv4 útvonalak számára

MPLS Label kiosztási stratégiák

- Topológia vezérelt
  - Címkekiosztás a routing protokollok által jelzett topológia változások követésére
- Kontroll vezérelt
  - Címkekiosztás az RSCP, CR-LDP protokollok kéréseire
- Forgalom vezérelt
  - Címkekiosztás új folyamok észlelése esetén

Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

Egy LSP létrehozása

- Az LSP-ket elosztottan hozzuk létre és tartjuk fenn
- Minden LSR megegyezik egy címkében minden FEC (Forwarding Equivalence Class) számára a felfele és lefele irányú szomszédjaival, valamilyen kiosztási módszert használva
- Az eredmény: Label Information Base (LIB)

Label Distribution Protocol

- Az RFC 3035 és 3036 írja le
- Címkék kiosztására használják MPLS hálózatban
- Forwarding Equivalence Class
  - Meghatározza hogy a csomagok hogyan lesznek LSP-hez rendelve
- FEC szerint hirdeti a címkéket
  - Pl. az a.b.c.d cím x label –el érhető el
- Neighbor discovery
  - Szomszédos LSR-ek felderítése
  - Basic és Extended Discovery

LDP - Terminológia

- Label Distribution Protocol (LDP)
  - Műveletek gyűjteménye melyekkel egy LSR LSP-ket hoz létre
  - Hálózati szintű útvonalak adatkapcsolati szintű kapcsolt útvonalakra
- LDP peer-ek:
  - Szomszédos LSR-ek melyek címke/stream kiosztást végeznek
  - Ez az információ csere “LDP Session” néven ismert

LDP Üzenetváltás

- Discovery üzenetek – egy LSR jelenlétének jelzésére és fenntartására
- Session üzenetek – kapcsolatok létrehozására, fenntartására és bontására LDP peer-ek között
- Advertisement üzenetek – címke kiosztás létrehozására, változtatására és törlésére
- Notification üzenetek – további információk, hibaüzenetek átvitelére

Címke terek - Label Spaces

- Címkék kiosztásánál használt tartományok
- Kétféle tér lehetséges
  - **Per interface label space**: Interfész specifikus, interfészenként történik a kiosztás
  - **Per platform label space**: Platform-specifikus, a bejövő címkéken osztoznak az egyforma interfészek

LDP Discovery

- Mechanizmus az LDP peer-ek felderítésére
- Elkerüli hogy explicit módon kelljen az LSR peer-eket megadni
- Két lehetőség a felderítésre:
  - basic discovery mechanism: link szinten csatlakoztatott LSR szomszédok felderítésére
  - extended discovery mechanism: azon LSR szomszédok felderítésére, amelyek nem link-lokálisan észlelhetők

Label Information Base

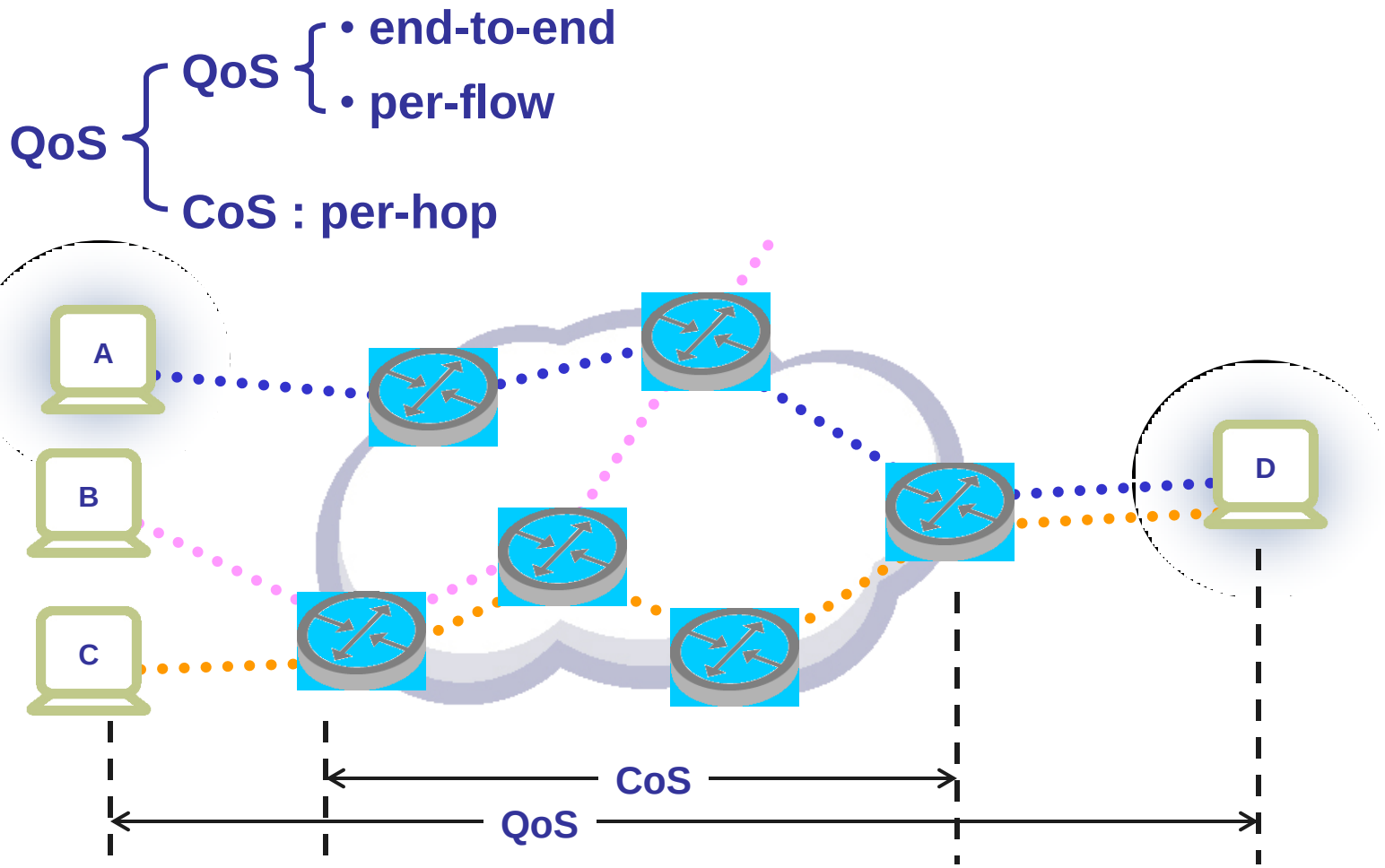
- Az LSR a megtanult címkéket egy Label Information Base (LIB) felépítésére használja

- Minden bejegyzés a LIB-ben egy FEC-et rendel egy (LDP azonosító, címke) pároshoz

Áttekintés

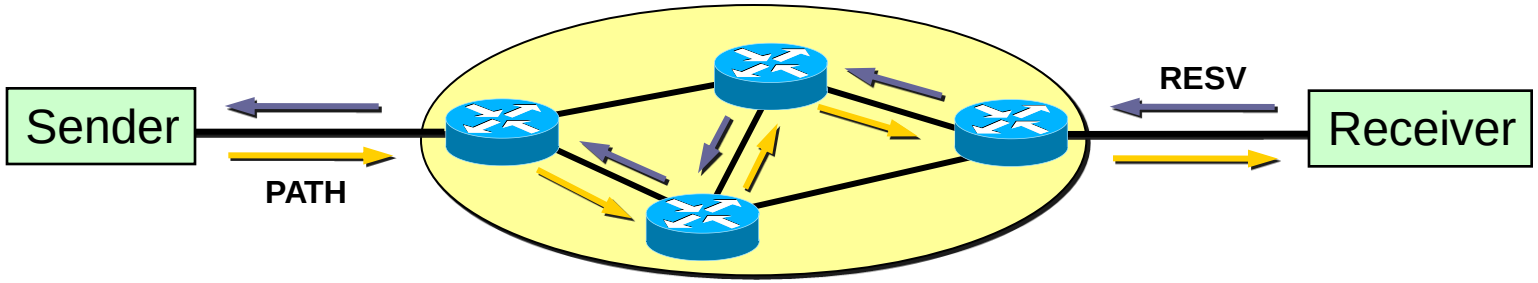
- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

QoS vs CoS



Integrated Services (IntServ)

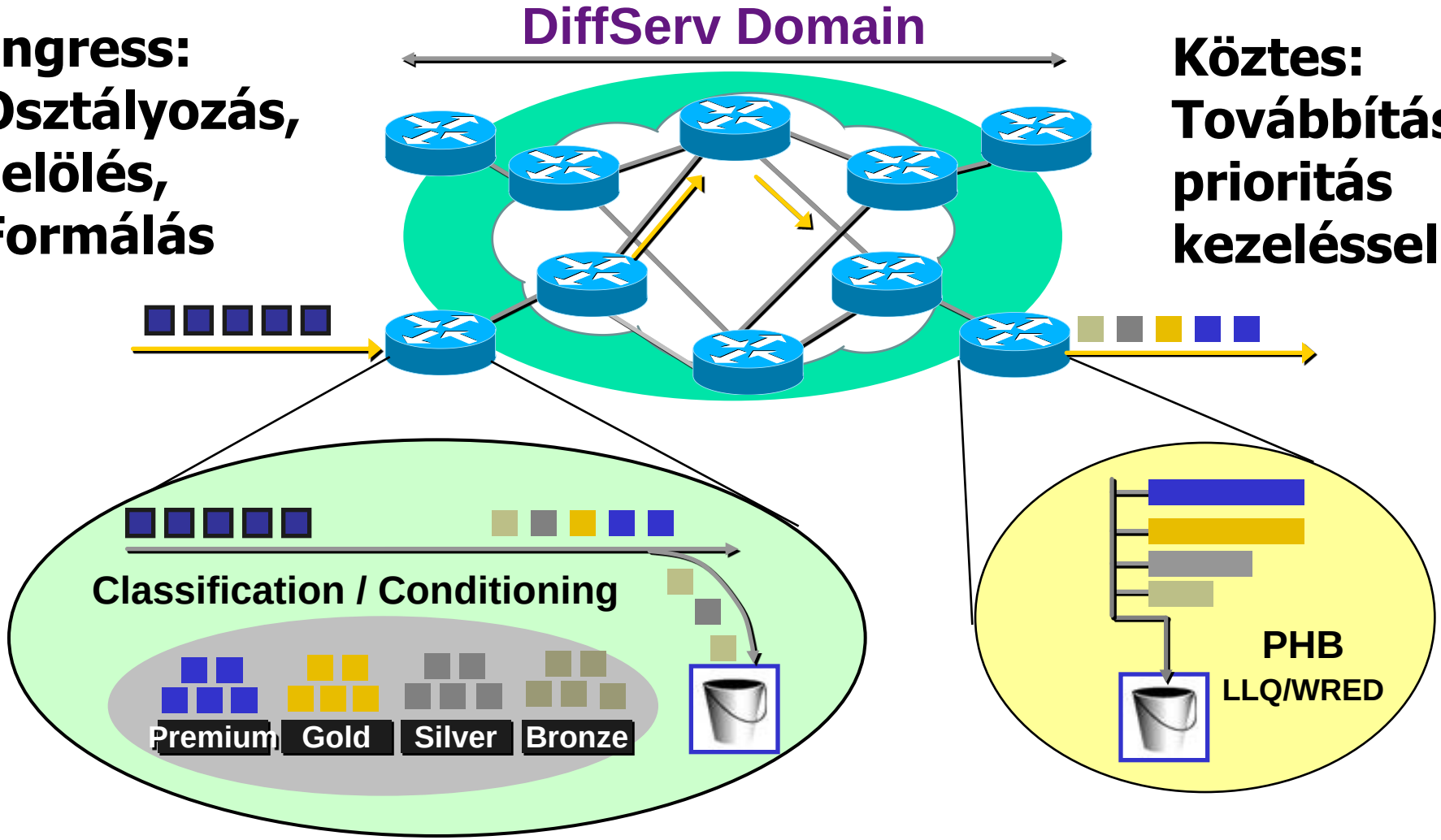
- Az Integrated Services (IntServ) az Resource Reservation Protocol (RSVP) protokollon alapul
- per simplex flow erőforrás foglalás
- Az alkalmazások kérnek erőforrásokat a hálózattól
- A küldő leírja az erőforrás követelményeket a PATH üzenetben amelyet a vevőnek küld
- A vevők lefoglalják az erőforrásokat egy RESV üzenettel amely a visszafele irányban halad



Per-flow garancia, de komplex nem skálázható

DiffServ

Ingress: Osztályozás, Jelölés, Formálás



Köztes: Továbbítás prioritás kezeléssel

Jól skálázható, de nem ad per-flow garanciát

MPLS QoS

- Az MPLS önmagában nem ad QoS-t
- MPLS könnyebbé teszi az IntServ megvalósítását
  - Még mindig skálázhatósági problémát jelent
- MPLS támogatja a DiffServ-et, Traffic Engineering lehetőségekkel
  - Diffserv-aware TE

MPLS Intserv támogatás

- RSVP-TE segítségével
- RSVP – erőforrások lefoglalása
  - PATH üzenet – egyben címke kérés is
  - RESV üzenet – erőforrás foglalás, és egyben címke válasz is
- RSVP ugyanakkor beengedés vezérlést is végez
  - A PATH üzenet ellenőrzi az erőforrásokat
  - az RESV üzenet végzi a tulajdonképpeni foglalást

MPLS Class of Service

- Class of Service (CoS)
  - A hálózat különböző minőségi osztályokat implementál
  - A forgalmat forgalmi osztályokba soroljuk
    - Layer 3 szinten: applikáció, célállomás,…
  - Egyszerűbb és hatékonyabb mint egy csomó virtuális kapcsolat kezelése (pl. ATM-nél), és megvalósul az L2-L3 megfeleltetés is
- Két módszer a szolgáltatási osztály jelölésére:
  - IP precedence -> MPLS header (CoS field)
    - Összesen 8 osztály kezelhető (3 bit)
  - Külön címke használata minden osztályra
    - Nincs határ a címkék számára vonatkozóan (QoS specifikusan)

MPLS Diffserv támogatás

- MPLS és DiffServ kombináció
  - Diffserv az erőforrások kezelésére
  - MPLS a gyors továbbításra

- Ingress:
  - Diffserv – FEC összerendelés
- Köztes csomópontok
  - Explicit LSP-k
  - Könnyebben nyomon követhetők az erőforrások

MPLS QoS összefoglaló

- Használja a meglévő IP QoS mechanizmusokat
  - Queuing – LLQ, CBWFQ
  - Policing
  - WRED
- Osztályozás és jelzés az EXP bitek segítségével
- A címke fejléc QoS jelölése eltérhet az IP DSCP jelöléstől

Áttekintés

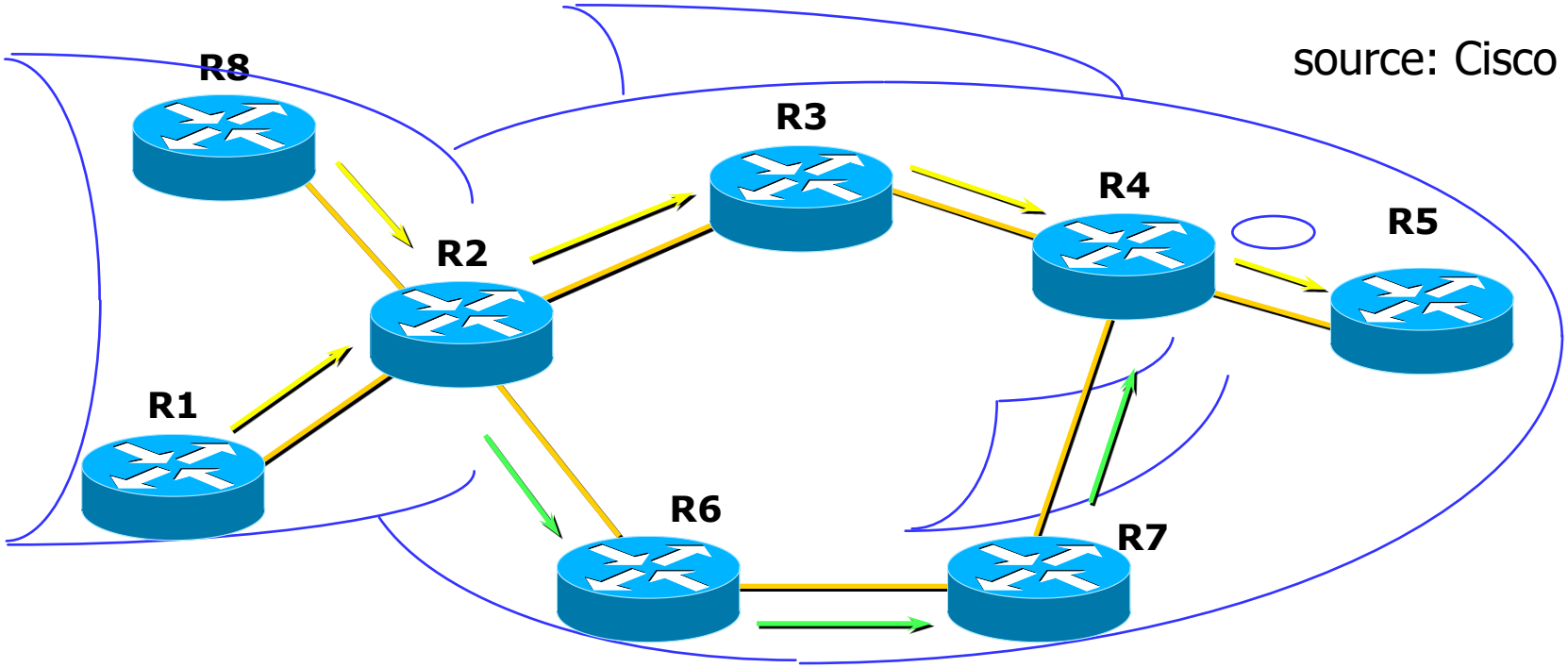
- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

Minek Traffic Engineering?

- Szűk keresztmetszetek a hálózatban a változó forgalom hatására
- Jobb sávszélesség kihasználás
  - Útvonal nem a legrövidebb útvonalon
- Hibás linkek/csomópontok kikerülése
  - Fast rerouting – a felhasználó számára transzparens
  - Védelem
- Új szolgáltatások megvalósítása – Virtuális bérelt vonal
  - point-to-point sávszélesség garanciával
- Kapacitás tervezés
  - Lehetővé teszi az aggregátumok kezelését, számolni lehet az útvonalakon az igényelt sávszélességet

IP Routing és a Hal

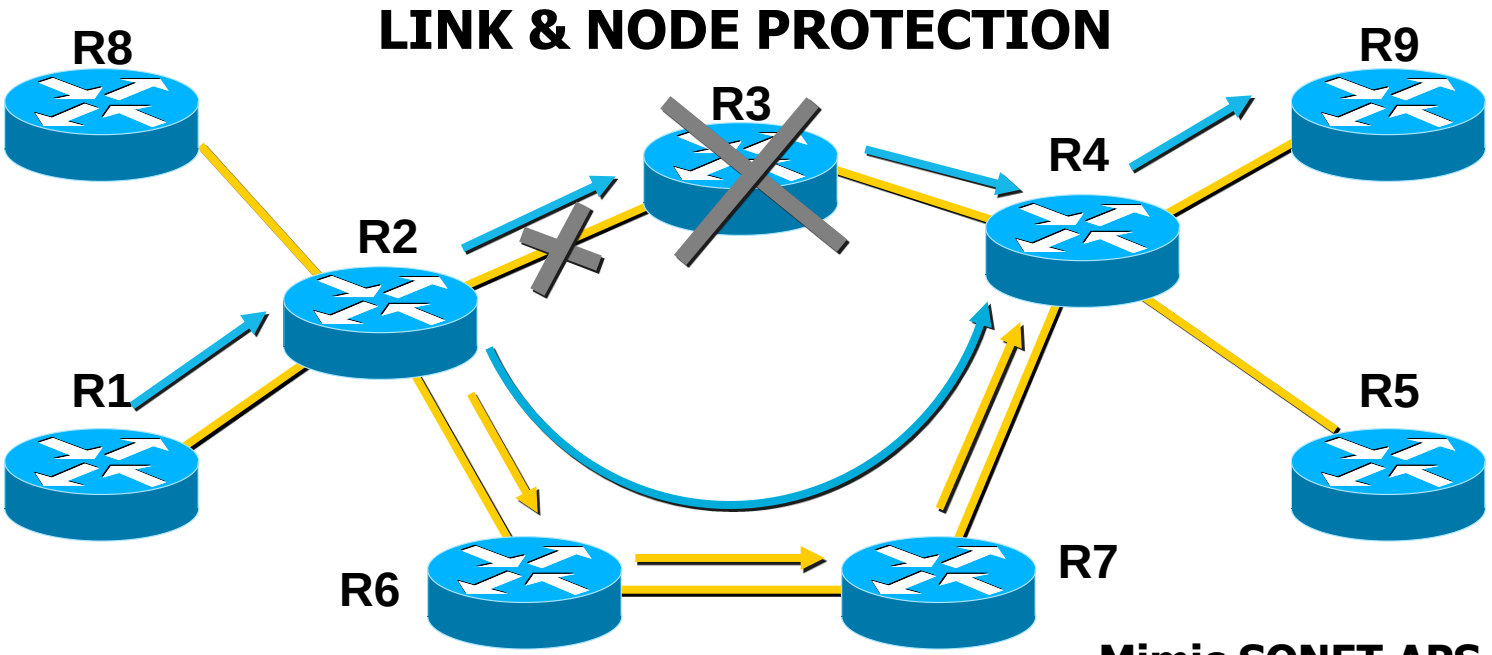
source: Cisco



IP (legtöbbször) a legrövidebb útvonalat választja
Az R8 és R1-ből induló folyamok R2-nél keverednek, és a későbbiekben nem megkülönböztethetők

Az alternatív útvonal nem kihasznált

Az MPLS TE előnye



source: Cisco

- Több csomópont kikerülhető. R2 kicserélheti az R3 irányába mutató címkét az R6 irányúra

TE performancia célok

- Traffic Engineering (TE) célja az optimális hálózati kihasználás
- A fő célok
  - Forgalom szempontjából: javítja a QoS-t, pl. a csomagvesztés minimizálásával
  - Erőforrás szempontjából: javítja az erőforrások felhasználását, jobb hálózati kihasználtságot tesz lehetővé

MPLS és Traffic Engineering

- Főbb komponensek
  - Traffic Trunk – azonos osztályú forgalmi folyamok aggregálása melyek egy LSP-t használnak
  - Indukált MPLS Gráf
    - Virtuális topológia – akár egy overlay model
    - Logikai hozzárendelés egy fizikai útvonalhoz LSP traffic trunk segítségével
    - Az LSP-k pont-pont kapcsolatot nyújtanak két LER között, több LSR-en keresztül

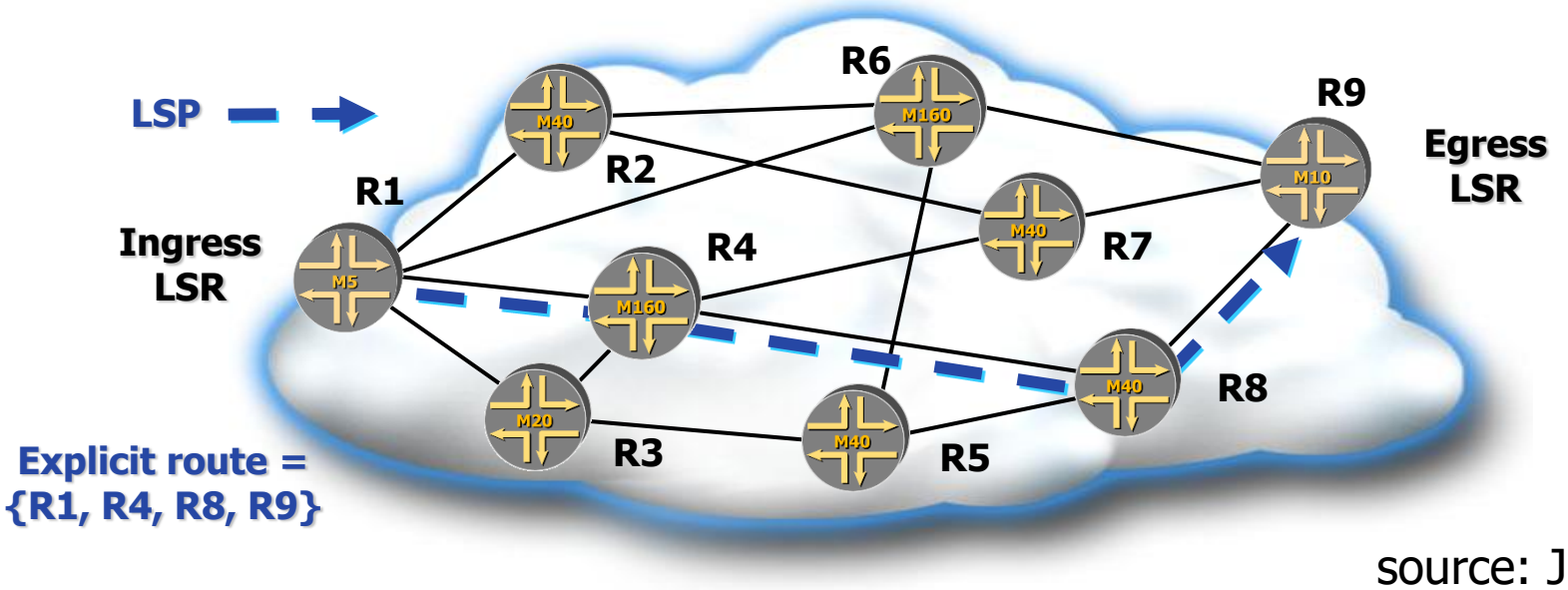
Explicit Routing MPLS-ben

- Két opció az útvonalválasztásra:
  - Hop by hop routing
  - Explicit routing
- Explicit Routing (azaz Source Routing) – nagyon hasznos
  - IP explicit routing: minden csomagban benne az útvonal - túl nagy overhead
  - MPLS: csak az LSP kihúzásánál kell az explicit útvonalat megadni
  - Az MPLS praktikussá teszi az explicit útvonalak kezelését

Explicit Routing

- Offline Útvonal számítás
  - PCE, Path Computation Element
  - Központi eszköz
- Online Útvonal számítás
  - OSPF/IS-IS kiterjesztések
  - Constraint based routing - megszorításokkal
- LSP jelzés – explicit útvonal
  - RSVP-TE
  - CR-LDP

Offline útvonal számítás



source: Juniper

- Bemenet az offline útvonal számítónak:
  - Ingress és egress csomópont
  - Fizikai topológia
  - Forgalmi mátrix (statisztikai)
- Kimenet:
  - Fizikai útvonal szett, explicit útvonalként

Online útvonal számítás

- CR kiterjesztést igényel a routing protokollokhoz
  - Constraint-based SPF algoritmus: figyelembe veszi a megszorításokat
- Link State Információk - kiterjesztve
  - Hálózati topológia, folyam követelmények, a linkeken az elérhető erőforrások
  - Az LSA – Link State Advertisment üzenetek kiterjesztése OSPF és IS-IS protokollokban
  - Kompromisszum az információ részletessége és pontossága illetve a gyakori frissítés között

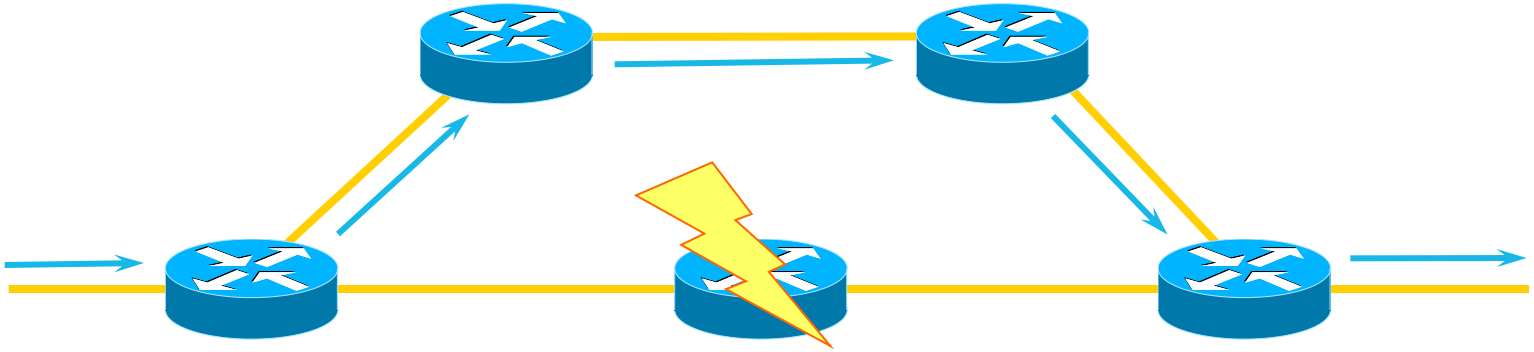
Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

Helyreállás és Védelem

- IGP alapú: helyreállás (restoration)
- RSVP-TE lehetővé teszi a védelmet
  - 1+1
    - a forgalom egyszerre mindkét útvonalon megy
    - Nincs csomagvesztés
  - 1:1
    - Előre kihúzott védelmi LSP, amelyre átkapcsol hiba esetén
    - Nagyon gyors ~50ms, de lehet csomagvesztés
- Szegmens védelem lehetséges
  - Fast reroute

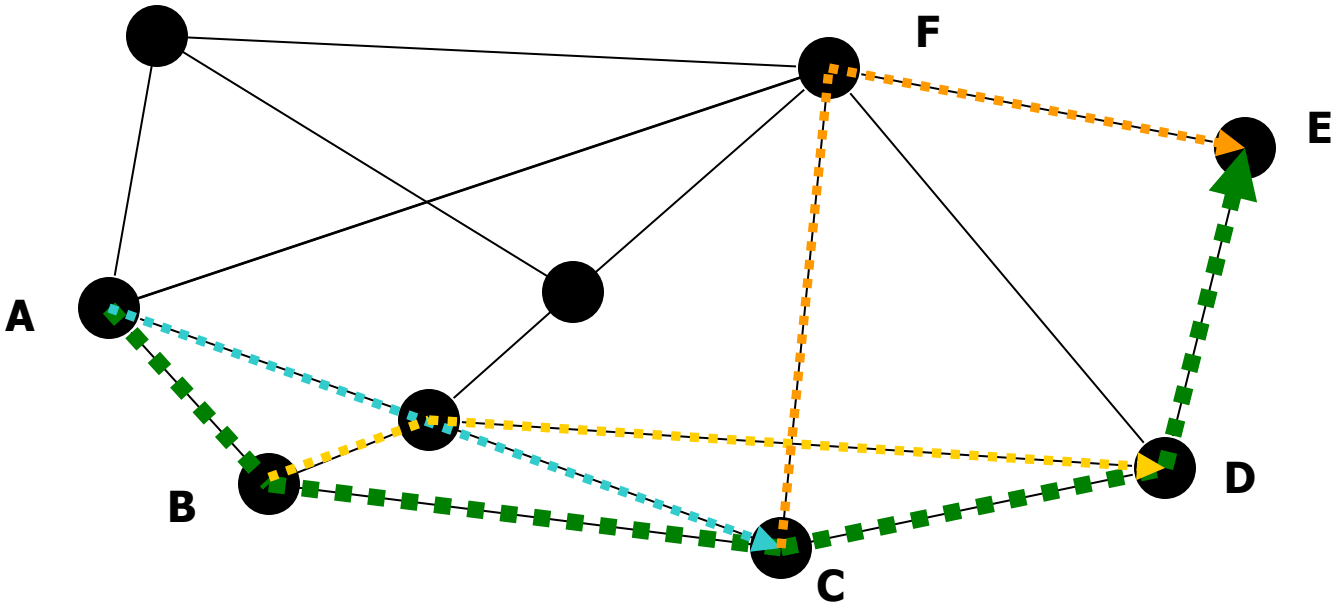
MPLS Link és Node védelem



- Időszakos kikerülés egy hibás csomópontnál
  - 50 msec alatti
  - Skálázható több ezer LSP-re

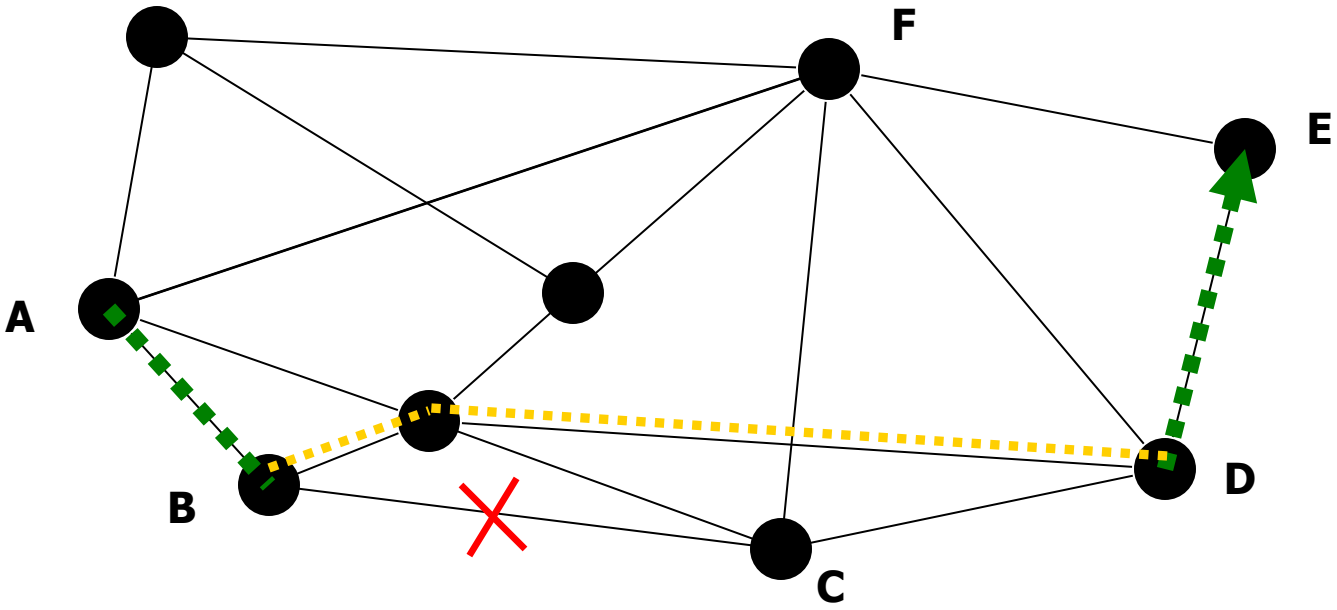
Fast Reroute

- Gyors útvonalkeresés az ingresstől
  - A kikerüli B-t
  - B kikerüli C-t
  - C kikerüli D-t



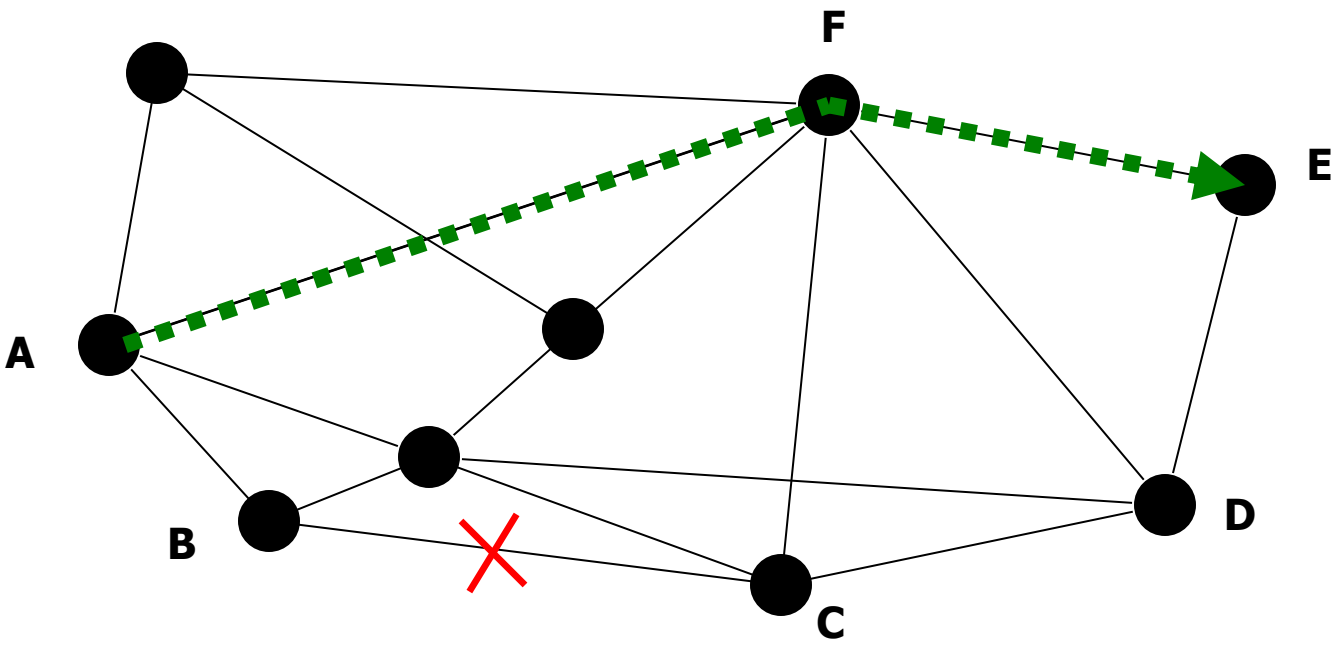
Rövid távú megoldás

- B - C link megszakad
  - B azonnal kikerüli C-t
  - B jelzi A-nak hogy hiba történt



Hosszú távú megoldás

- A kiszámol és kihúz egy optimális elsődleges útvonalat



Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

A legfontosabb MPLS Alkalmazások

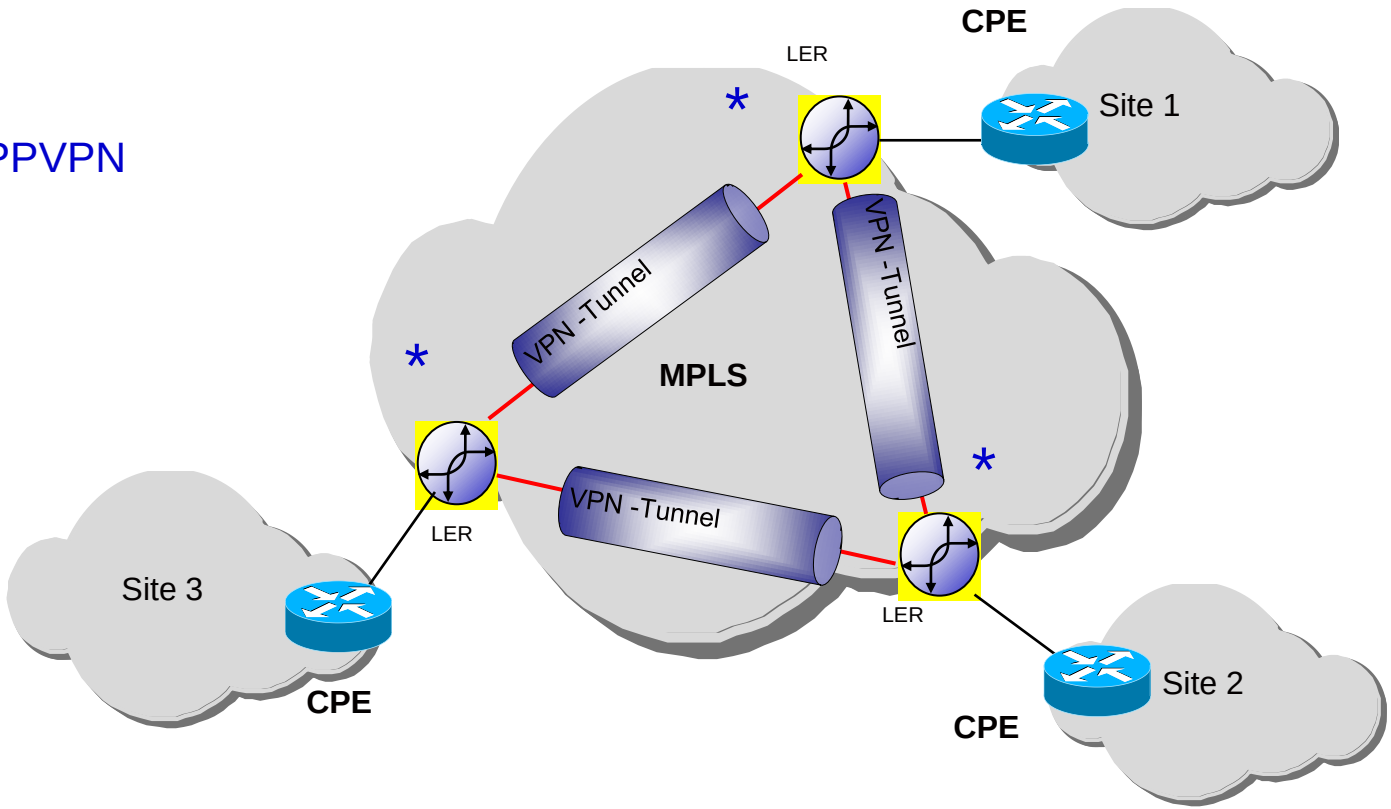
- Traffic Engineering
  - Optimális hálózati kihasználás
  - Explicit és policy routing
- Védelem és gyors helyreállás
  - Fast reroute
  - 1:1 védelem
- Szolgáltatások
  - IP VPN-ek (RFC 2547bis: BGP/MPLS VPN)
  - Layer 2 VPN-ek
  - Layer 2 Transport: ‘*’ MPLS felett, * = ATM, FR, Ethernet, stb.

MPLS IP VPN-ek

- Virtuális router modell
  - L2 & L3 Provider Provisioned – szolgáltató által beállított VPN megoldás (PP)

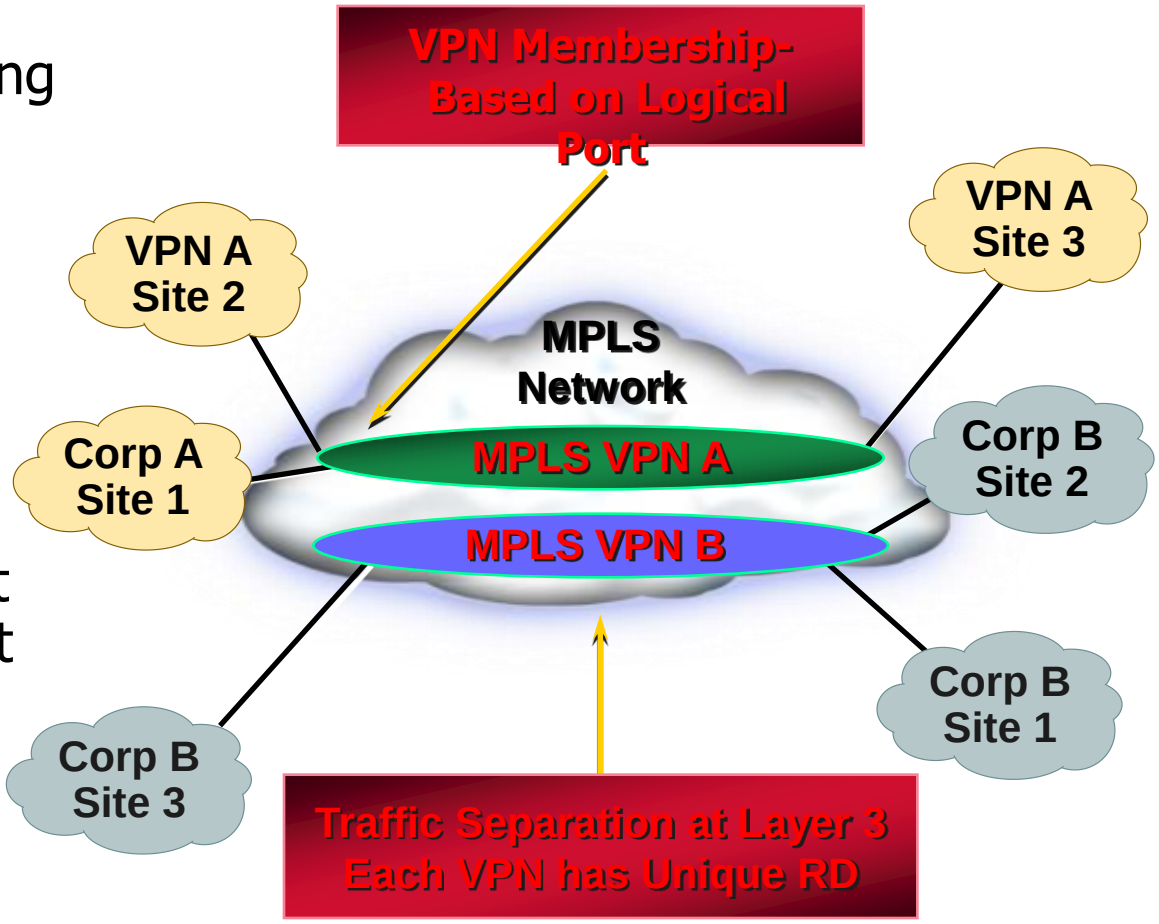
Provider Provisioned VPN

IETF - PPVPN



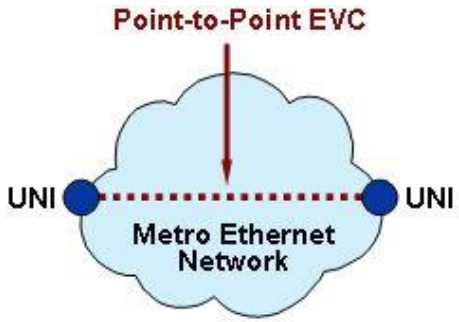
MPLS alapú IP-VPN Architektúra

- Skálázható VPN-ek
- IP QoS ls traffic engineering
- Könnyen menedzselhető
- Magas megbízhatóság – hasonló az ATM és Frame Relayhoz
- Lehetővé teszi értéknövelt alkalmazások szolgáltatsát
- Felhasználói IP címek szabad megválasztása

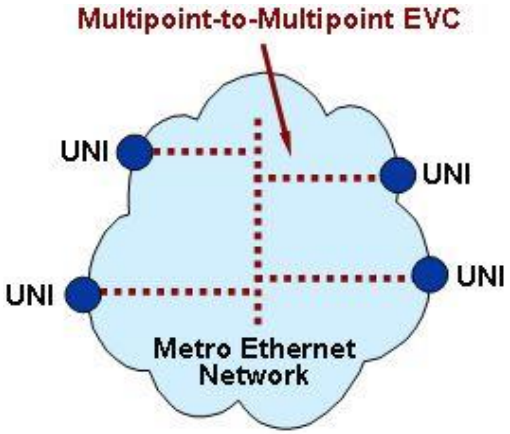


Ethernet szolgáltatások

- Virtual Private Wire Service, ***VPWS***
  - Bérelt vonali szolgáltatás
  - Pont-pont kapcsolat



- Virtual Private LAN Service, ***VPLS***
  - Virtuális LAN szolgáltatás
  - Multipont-multipont



- **UNI**-kapcsolódási pont
  - Virtuális kapcsolat - EVC

Forrás: MEF

Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

Az MPLS evolúciója

- MPLS: MultiProtocol Label Switching
  - IP csomag alapú
  - Packet Traffic Engineering (MPLS-TE)
- MPλS: MultiProtocol Lambda Switching
  - MPLS vezérlés kiterjesztve a WDM technológiára (wavelength/lambda) és IGP TE kiterjesztések
- GMPLS: Generalized MPLS
  - MPLS vezérlés kiterjesztve a vonalkapcsolt technológiákra (SDH/Sonet) és optikai rétegre
  - Új protokoll: LMP
- GMPLS: Technológia függetlenség bevezetése
  - LMP kibővítve "passzív eszközökre" : LMP-WDM

Általánosított MPLS: GMPLS

- GMPLS: 5 interfész típus
  - PSC - Packet Switching Capable: IP/MPLS
  - L2SC - Layer-2 Switching Capable: ATM, FR, Ethernet
  - TDM - Time-Division Multiplexing: Sonet, SDH, G.709 ODU
  - LSC - Wavelength Switching: Lambda, G.709 OCh
  - FSC - Fiber Switching

- GMPLS kiterjeszti az MPLS/MPLS-TE vezérlést
  - Az LSP kihúzása lehetővé válik különböző interfészeken át

Összefoglalás

- MPLS is a strategy for streamlining the backbone transport of IP packets across a layer 3/layer 2 network. Although it does involve QoS issues, that is not its main purpose.
- MPLS is focused mainly on improving internet scalability through better traffic engineering.
- MPLS will help to build backbone networks that better support QoS traffic, but it entails significant changes in existing network architecture.

Köszönöm a figyelmet!

- End -