

MPLS

Moldován István

moldovan@tmit.bme.hu



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
TÁVKÖZLÉSI ÉS MÉDIAINFORMATIKAI TANSZÉK**

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

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

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

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.



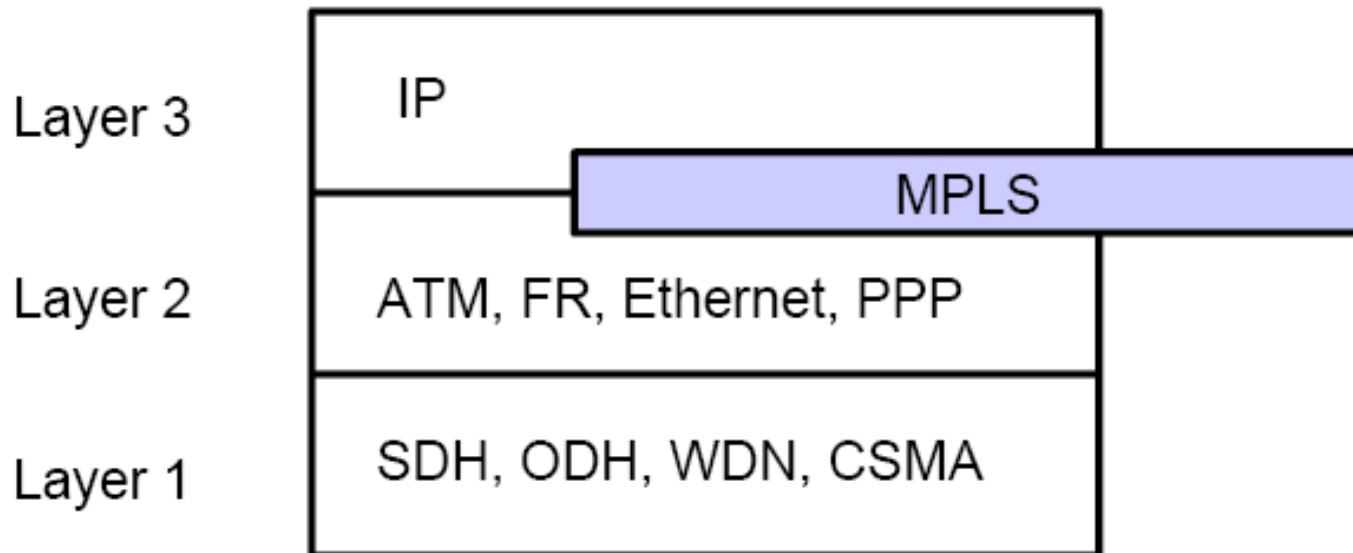
- Traffic engineering lehetőségek
- Szolgáltatások QoS garanciáinak biztosítása
- Kiküszöböli az L2 és L3 címek és routing információk koordinálását

Helye a Protocol Stack-ban



BME-TMIT

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



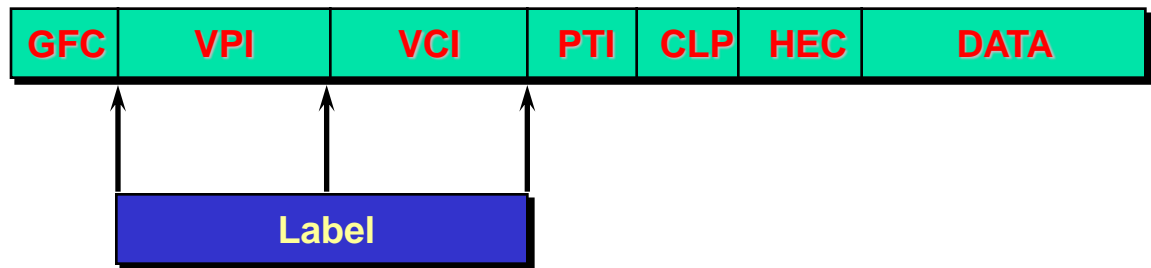
- Decomposition of network layer routing into control and forwarding components
applicable
- Label switching forwarding component algorithm uses
 - forwarding table
 - label carried in the packet
- What is a Label ?
 - Short fixed length entity

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
----------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------

ATM Cella Fejléc



PPP Fejléc (Packet over SONET/SDH)



LAN MAC Label Fejléc



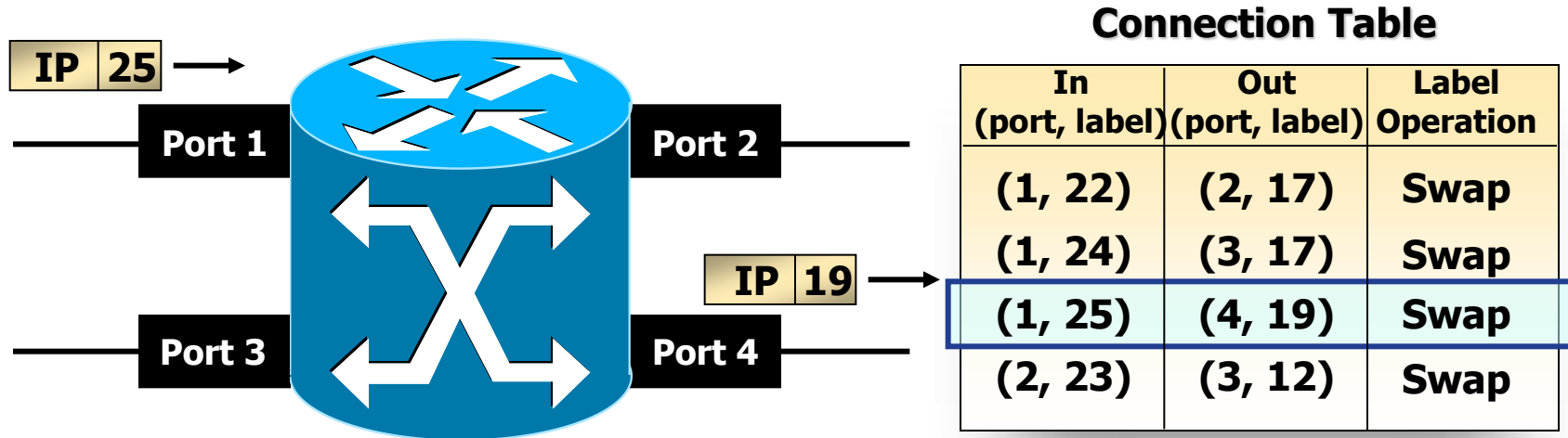
Az MPLS Shim Header



- 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



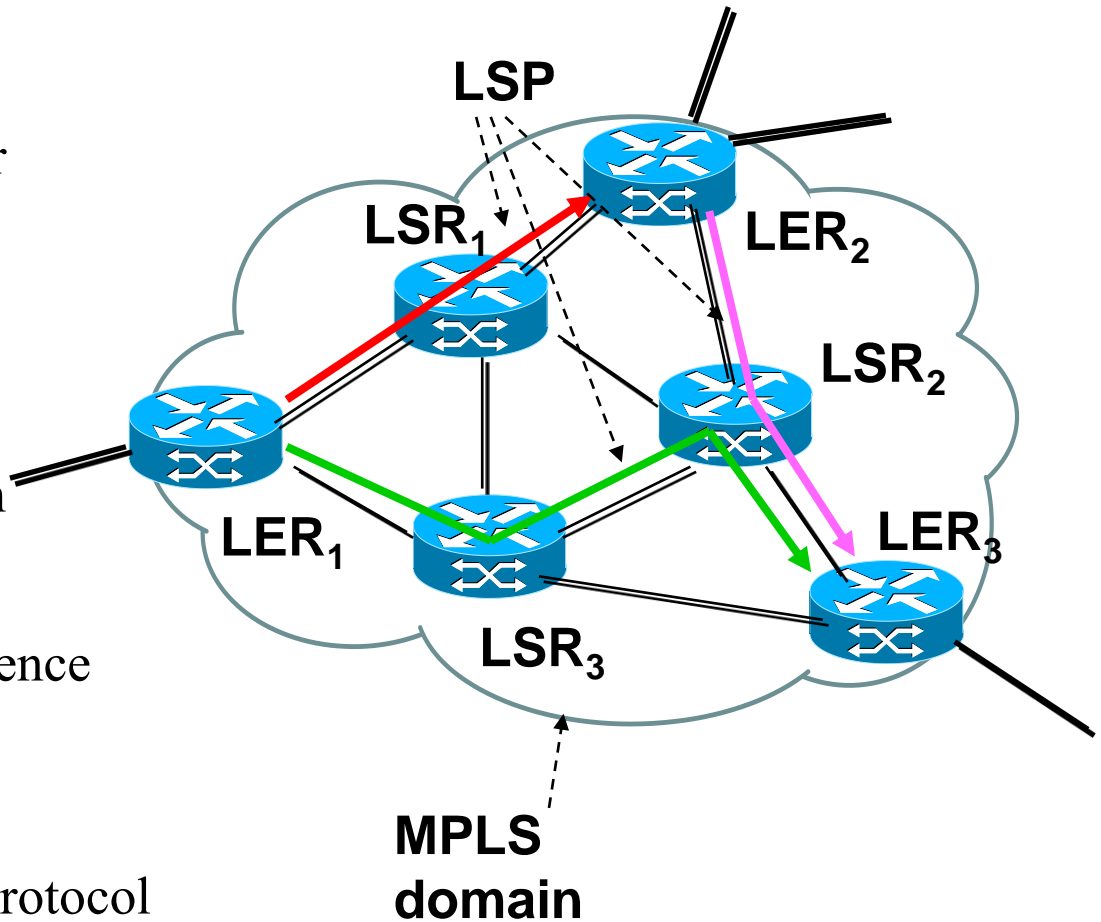
- Label Swapping

- 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 Komponentensek



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



Label Edge Router - LER

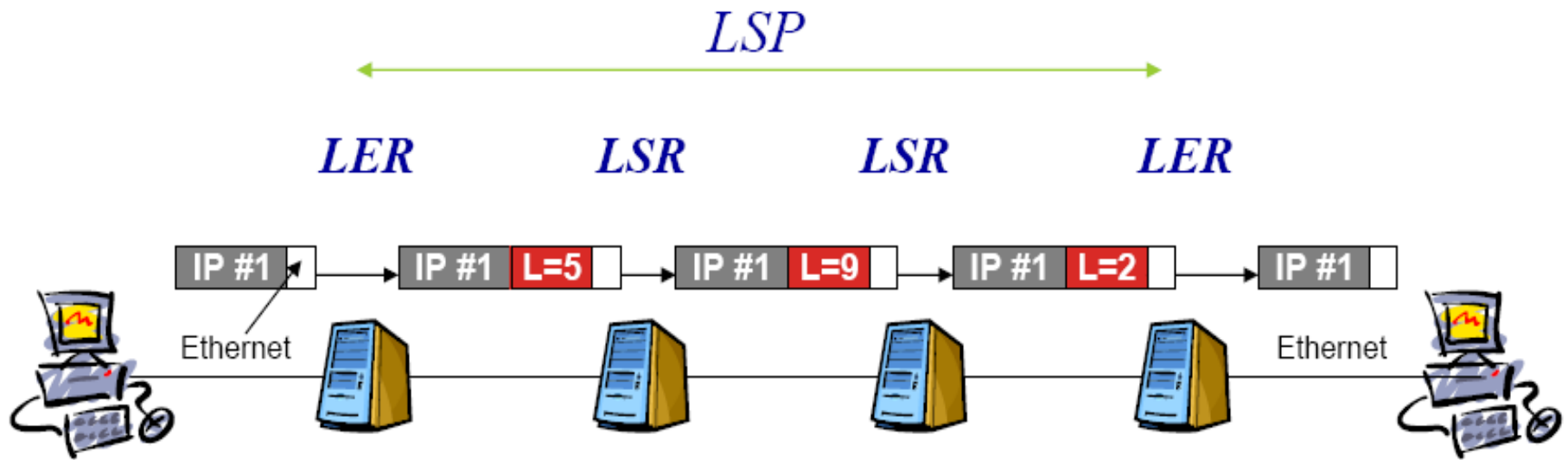


BME-TMIT

- Az MPLS hálózat szélén található és ő rendeli hozzá/veszi le a címkeket a csomagokról
- Többféle port típus használatát teszi lehetővé (pl. frame relay, ATM, és Ethernet).

- 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	In Label	Out Label	In Label	Out Label	In Label	Next Hop
192.4/16	5	5	9	9	2	2	192.4/16
Layer 2 Transport	Assign init label	Label Swapping		Label Swapping		Remove Label	Layer 2 Transport

“ROUTE AT EDGE, SWITCH IN CORE”



- 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 Oszályozás



- 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



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

- Az MPLS két lehetőséget nyújt az LSP-k kihúzására
 - hop-by-hop routing – IP routing
 - Minden LSP 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 „húzzunk 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
 - Sáv szélesség foglálás (opcionális)
 - Class of Service (DiffServ stílusban)
- Label Distribution BGP használatával
 - Az AS-ek közötti BGP/MPLS VPN-ek megvalósításához

- 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

- 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

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

- Az LSP-eket 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)

- Az RFC 3035 és 3036 írja le
- Címkek 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

- 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

- 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

- 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 címkeken osztoznak az egyforma interfészek

- 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

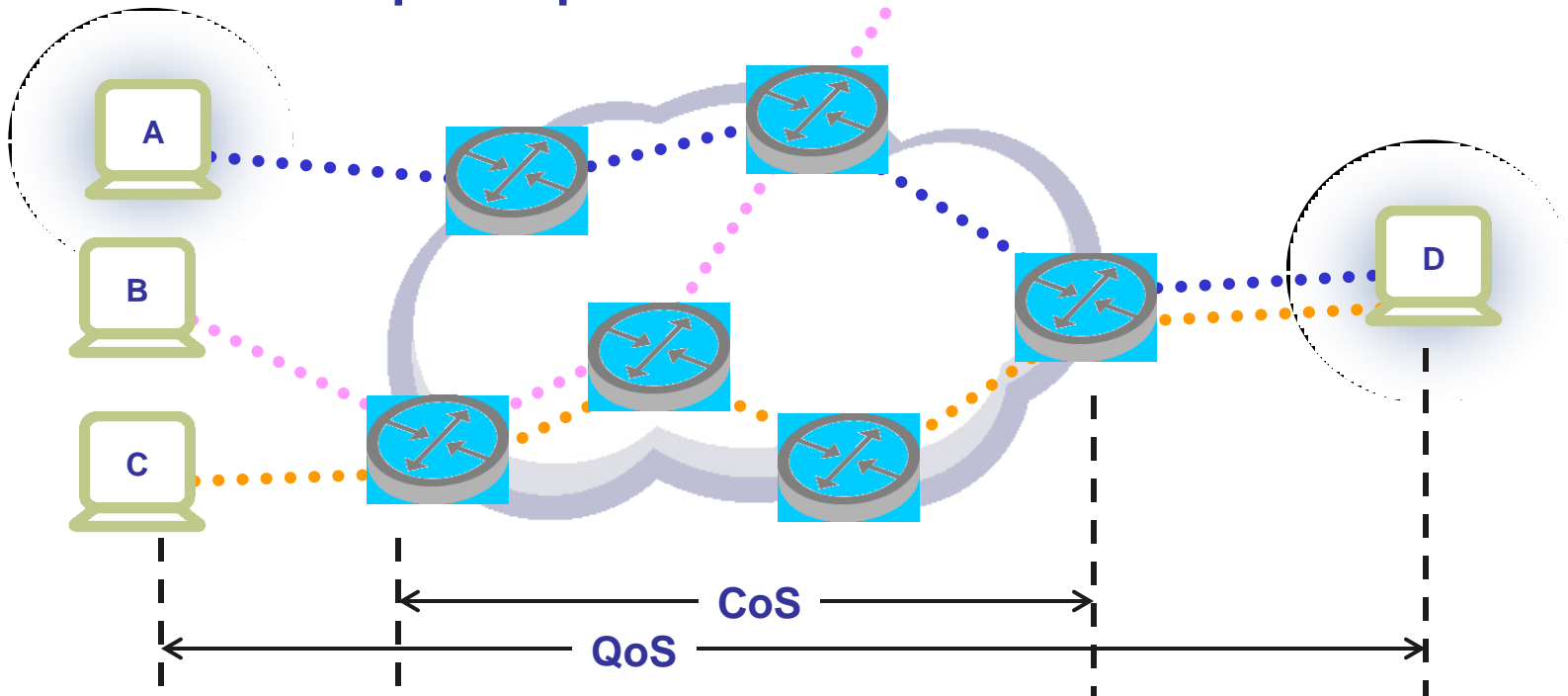
- Az LSR a megtanult címkeket egy Label Information Base (LIB) felépítésére használja
- Minden bejegyzés a LIB-ben egy FEC-et rendel egy (LDP azonosító, címke) pároshoz

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

QoS vs CoS



QoS {
 QoS {
 • end-to-end
 • per-flow
 CoS : per-hop

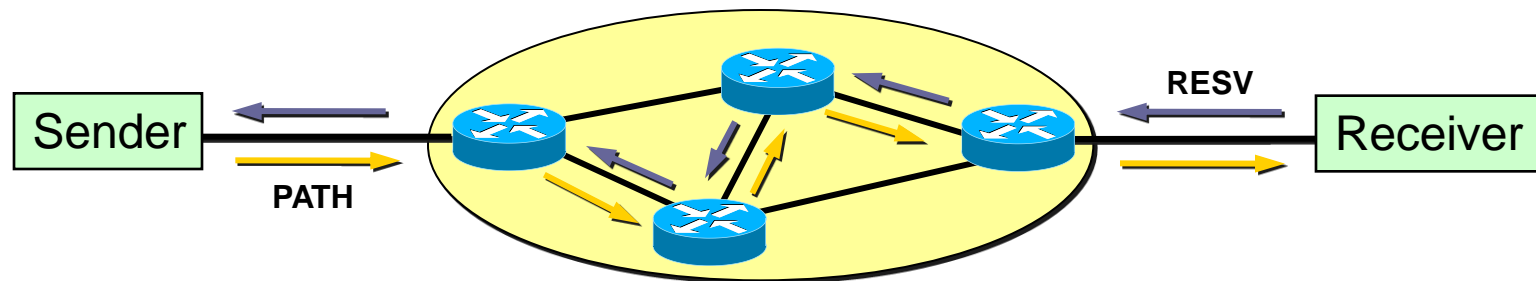


Integrated Services (IntServ)



BME-TMIT

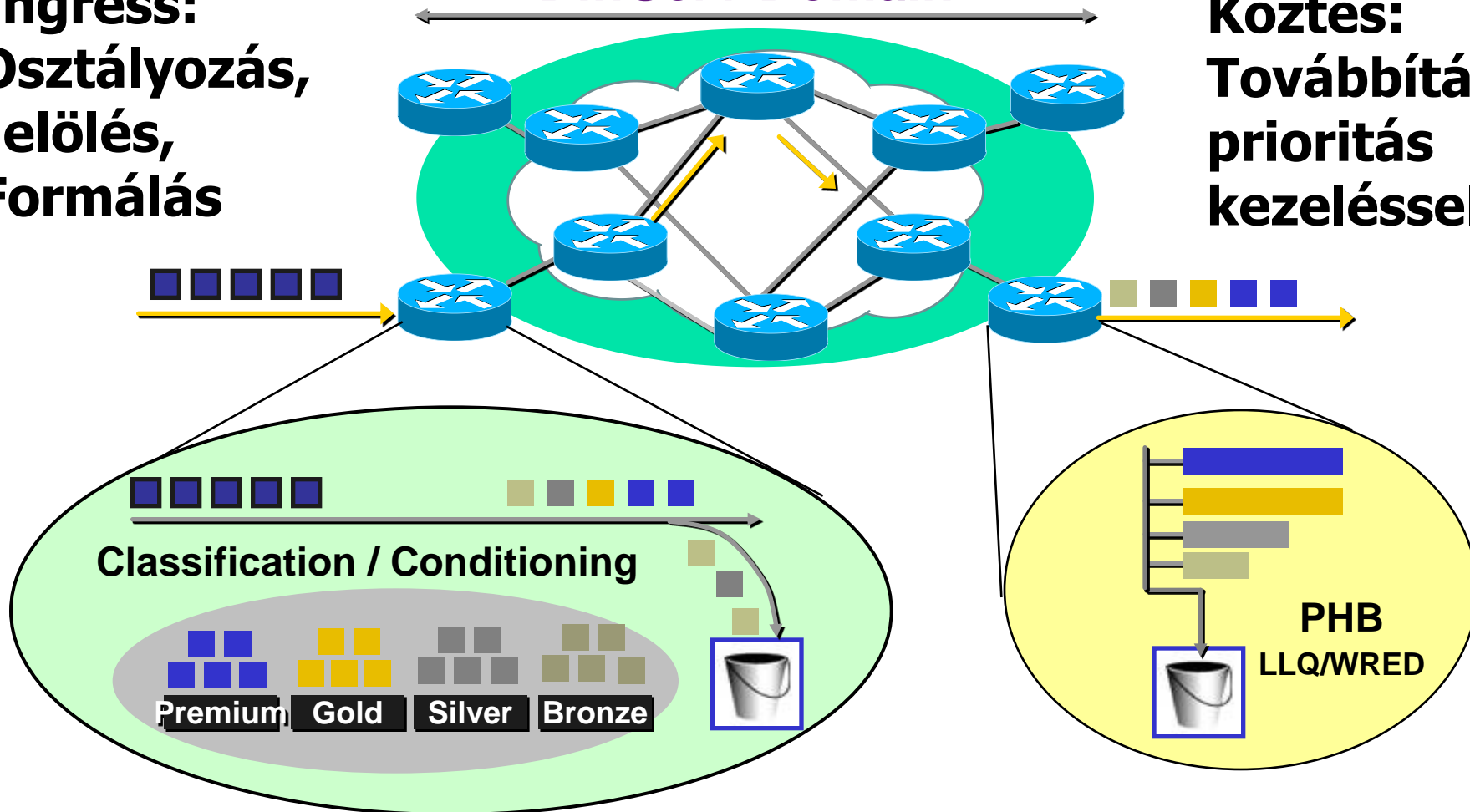
- Az Integrated Services (IntServ) az Resource Reservation Protocol (RSVP) protokollon alapul
- **per simplex flow** erőforrás foglalás
- Az alkalmazások kérnek erőforrásokat a hálózattól
- A küldő leírja az erőforrás követelményeket a PATH üzenetben amelyet a vevőnek küld
- A vevők lefoglalják az erőforrásokat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



DiffServ Domain

Ingress:
Osztályozás,
Jelölés,
Formálás

Köztes:
Továbbítás
prioritás
kezeléssel



- 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

- 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



● 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 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

- 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

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

Minek Traffic Engineering?



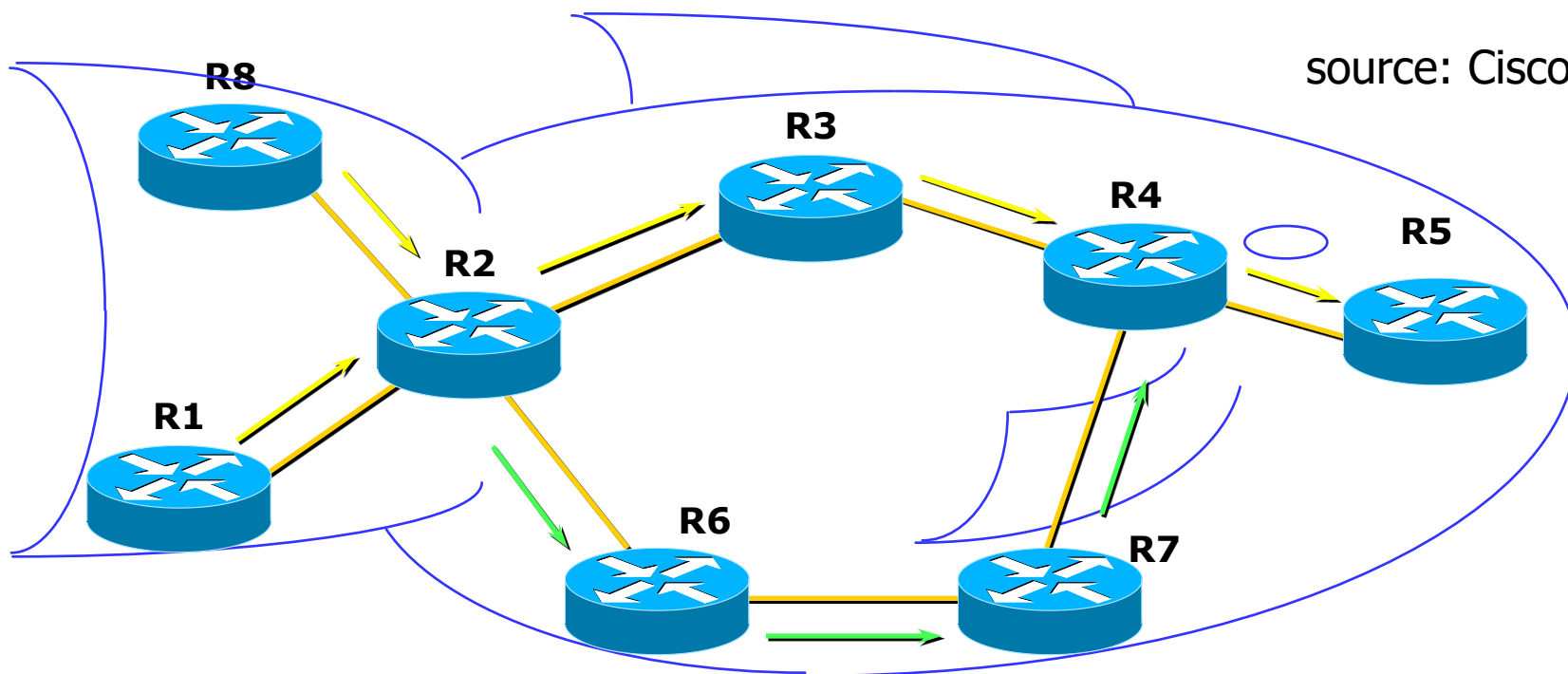
BME-TMIT

- Szűk keresztmetszetek a hálózatban a változó forgalom hatására
- Jobb sáv szélesség 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 sáv szélesség garanciával
- Kapacitás tervezés
 - Lehetővé teszi az aggregátumok kezelését, számolni lehet az útvonalakon az igényelt sáv szélességet

IP Routing és a Hal



BME-TMIT



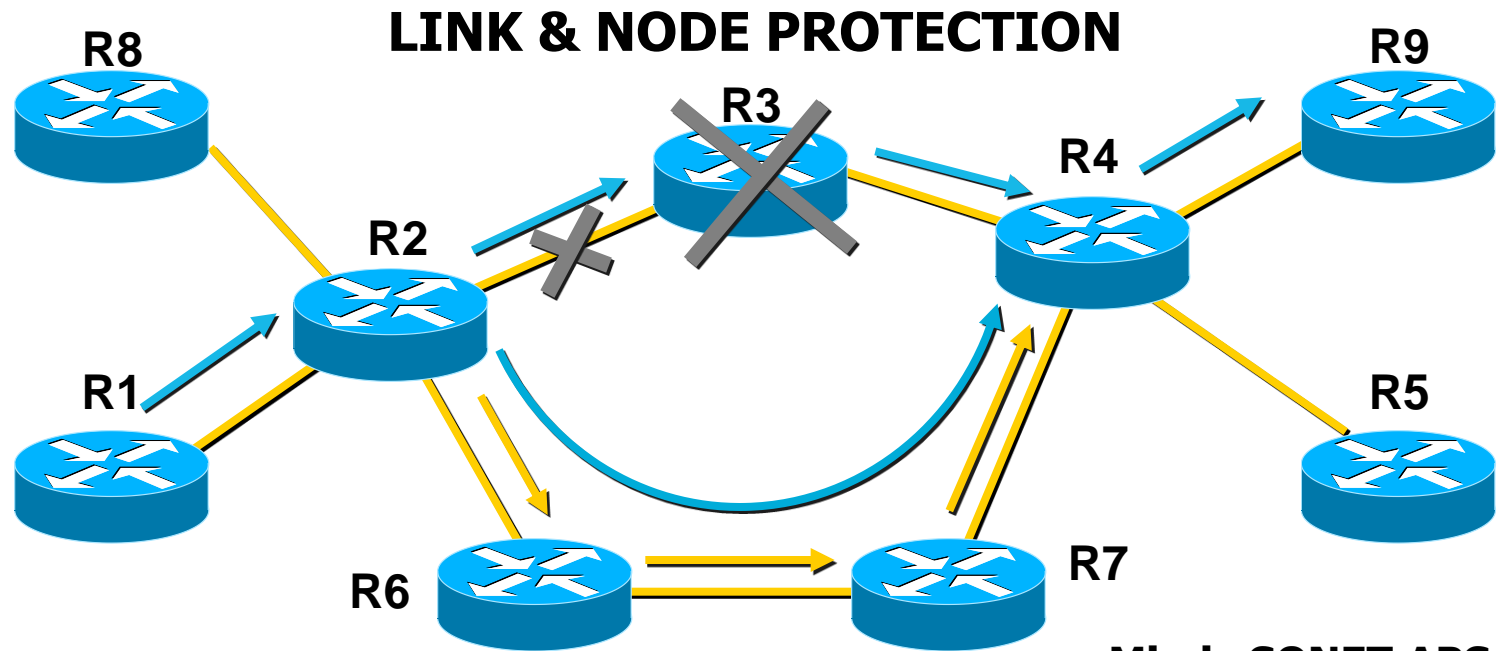
→
IP (legtöbbször) a legrövidebb útvonalat választja
Az R8 és R1-ből induló folyamatok R2-nél keverednek, és a későbbiekben nem megkülönböztethetők

→
Az alternatív útvonal nem kihasznált

Az MPLS TE előnye



BME-TMIT



source: Cisco

**Mimic SONET APS
Re-route in 50ms or less**

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

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

- Főbb komponensek
 - Traffic Trunk – azonos osztályú forgalmi folyamatok 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



BME-TMIT

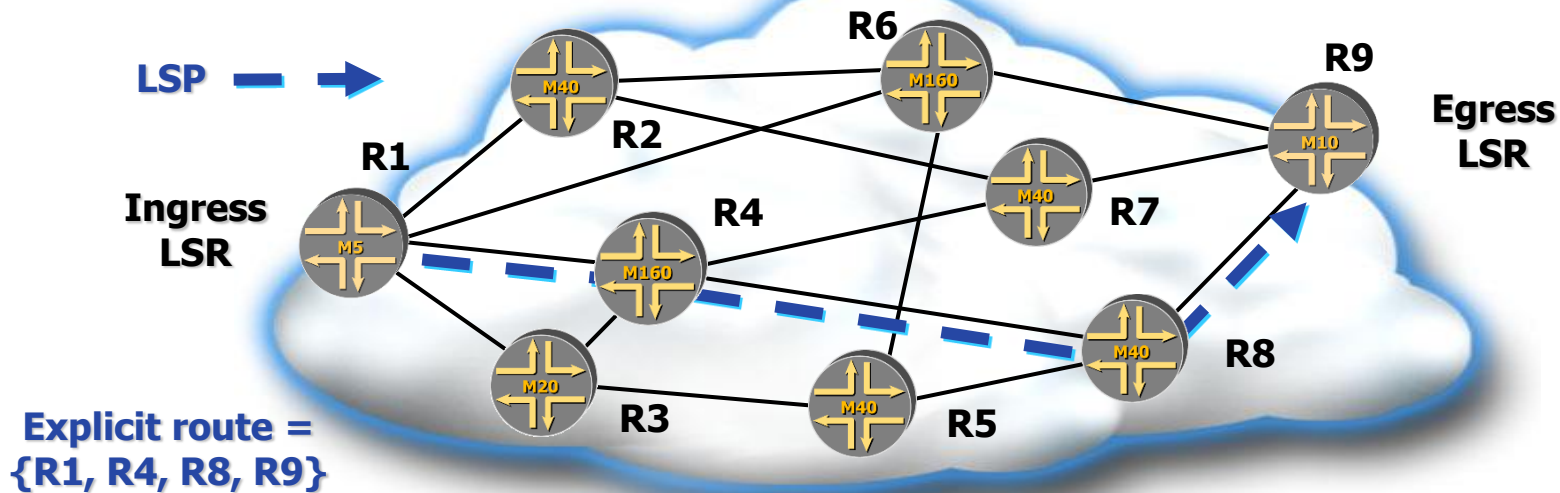
- Két opció az útvonalválasztásra:
 - Hop by hop routing
 - Explicit routing
- Explicit Routing (azaz Source Routing) – nagyon hasznos
 - IP explicit routing: minden csomagban benne az útvonal - túl nagy overhead
 - MPLS: csak az LSP kihúzásánál kell az explicit útvonalat megadni
 - Az MPLS praktikussá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

- 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



BME-TMIT



source: Juniper

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

- 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 Advertisement üzenetek kiterjesztése OSPF és IS-IS protokollokban
 - Kompromisszum az információ részletessége és pontossága illetve a gyakori frissítés között

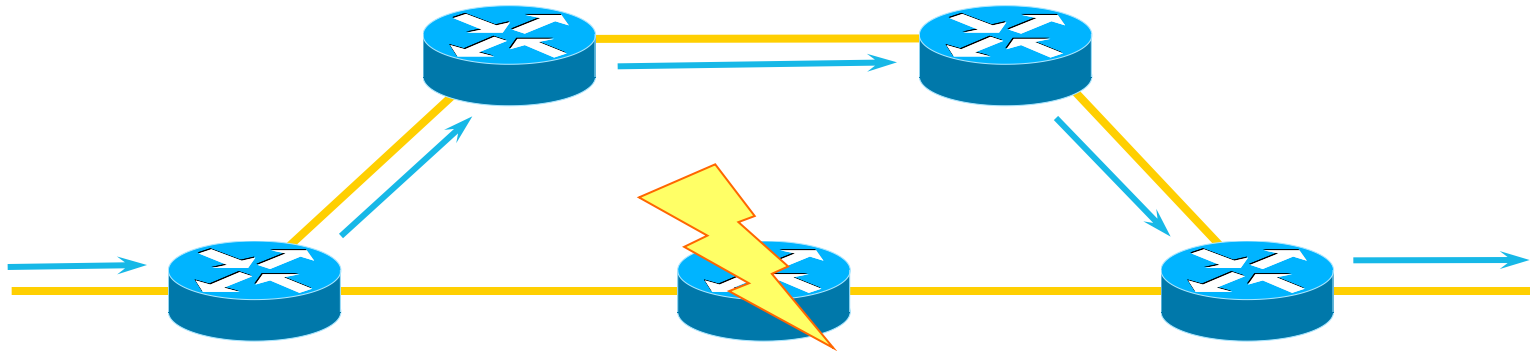
- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- **Védelem és helyreállítás**
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

- IGP alapú: helyreállítás (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 $\sim 50\text{ms}$, de lehet csomagvesztés
- Szegmens védelem lehetséges
 - Fast reroute

MPLS Link és Node védelem

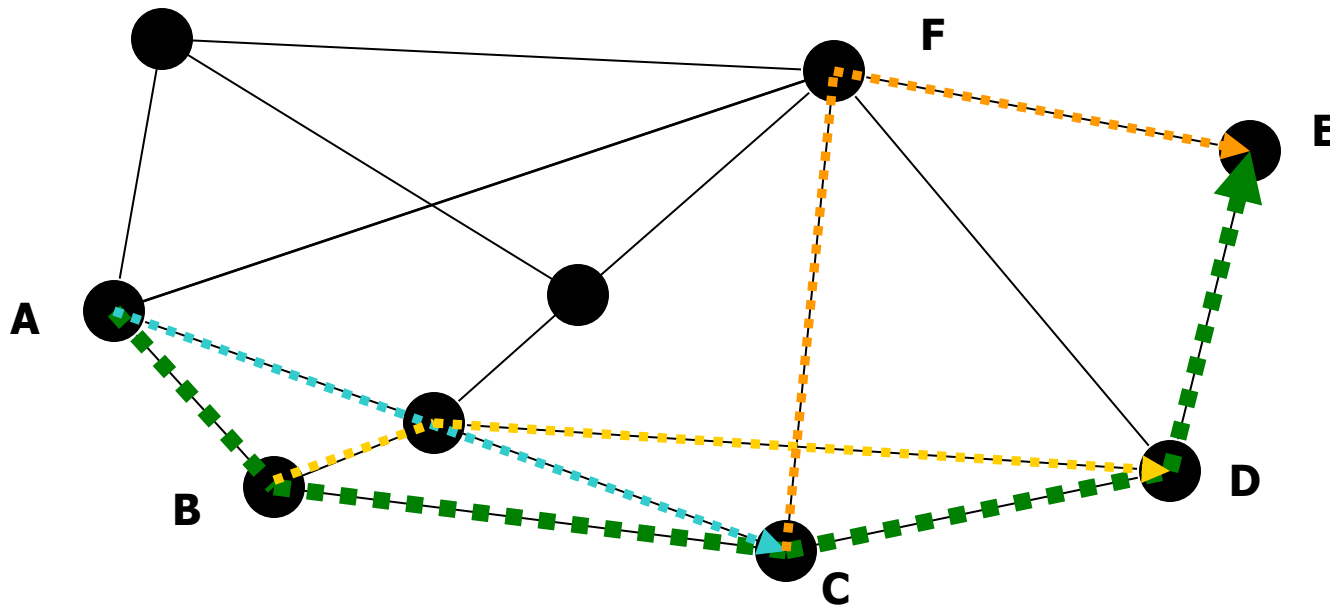


BME-TMIT



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

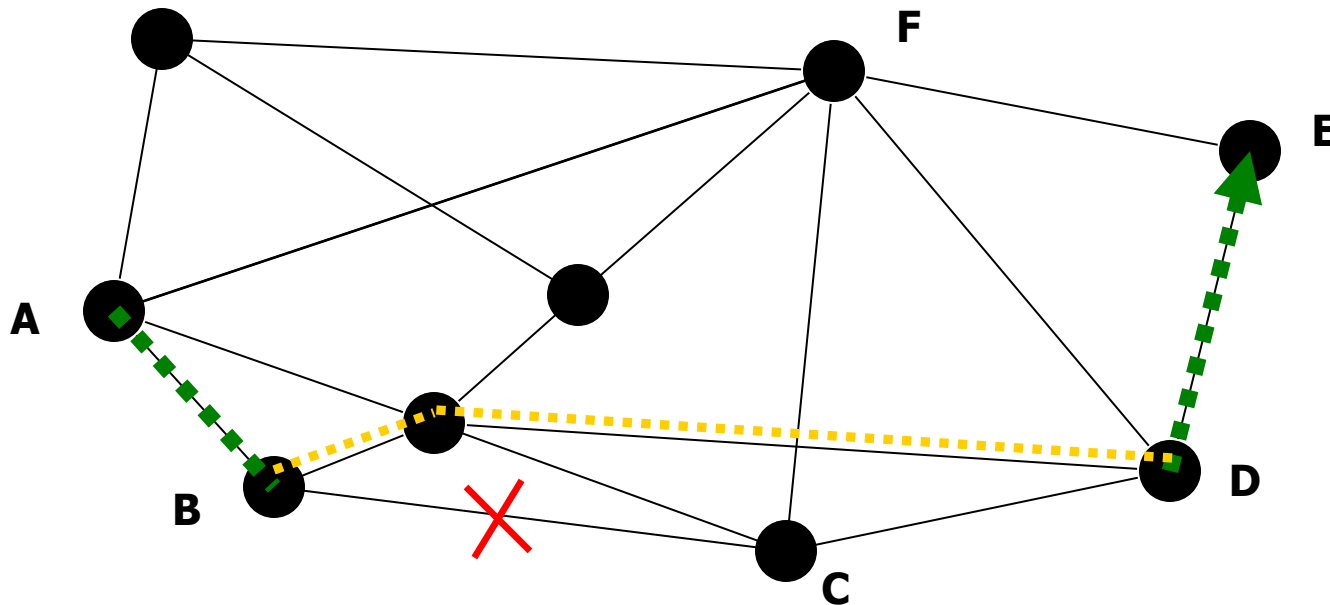
- Gyors útvonalkeresés az ingresztől
 - A kikerüli B-t
 - B kikerüli C-t
 - C kikerüli D-t



Rövid távú megoldás



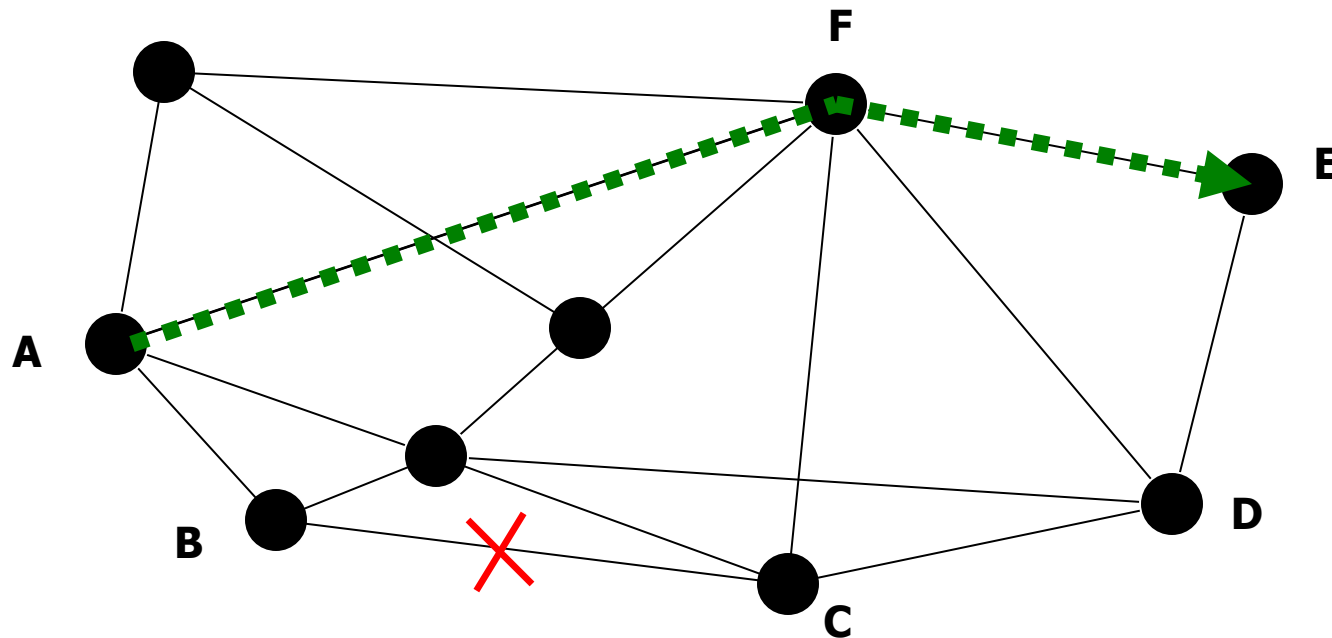
- B - C link megszakad
 - B azonnal kikerüli C-t
 - B jelzi A-nak hogy hiba történt



Hosszú távú megoldás



- A kiszámol és kihúz egy optimális elsődleges útvonalat



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

- Traffic Engineering
 - Optimális hálózati kihasználás
 - Explicit és policy routing
- Védelem és gyors helyreállítás
 - 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.

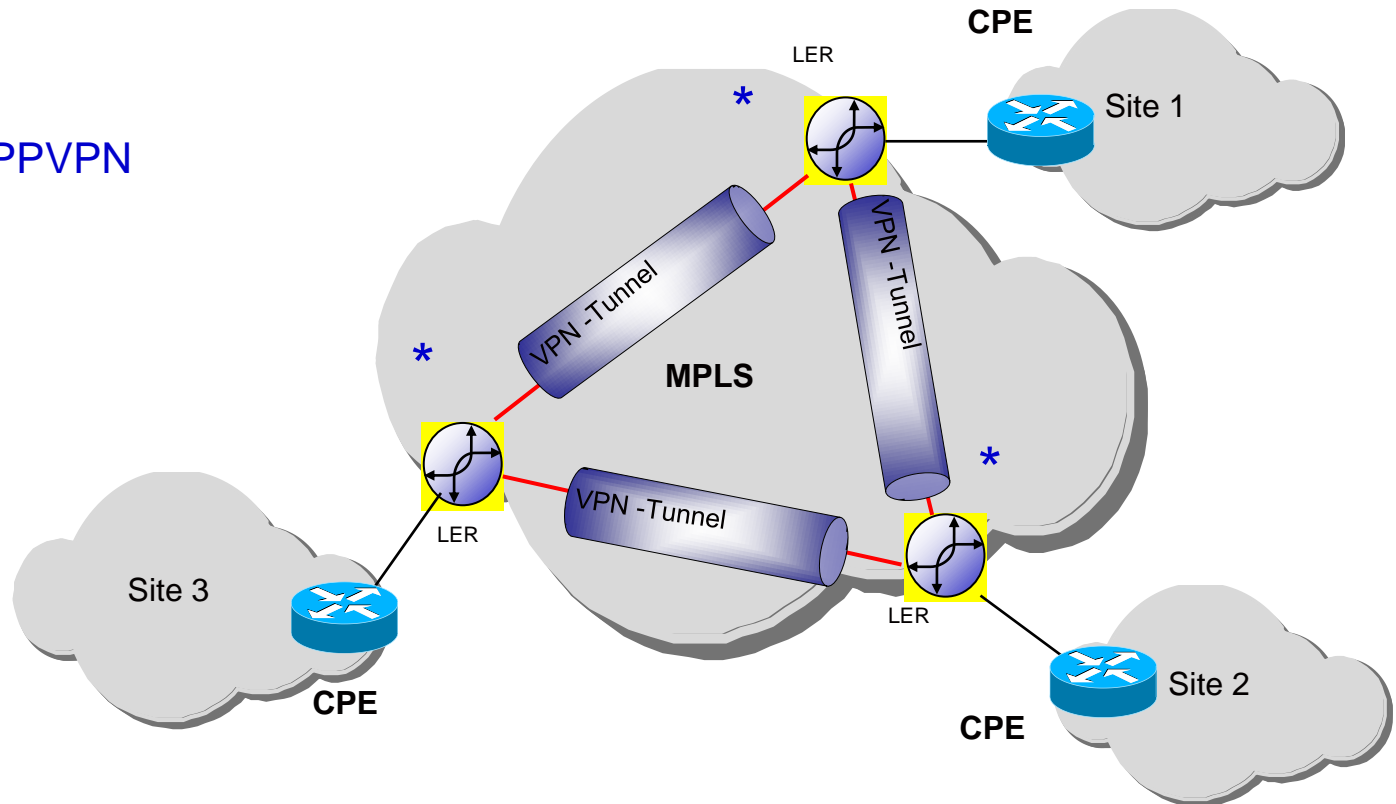
MPLS IP VPN-ek



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

Provider Provisioned VPN

IETF - PPVPN

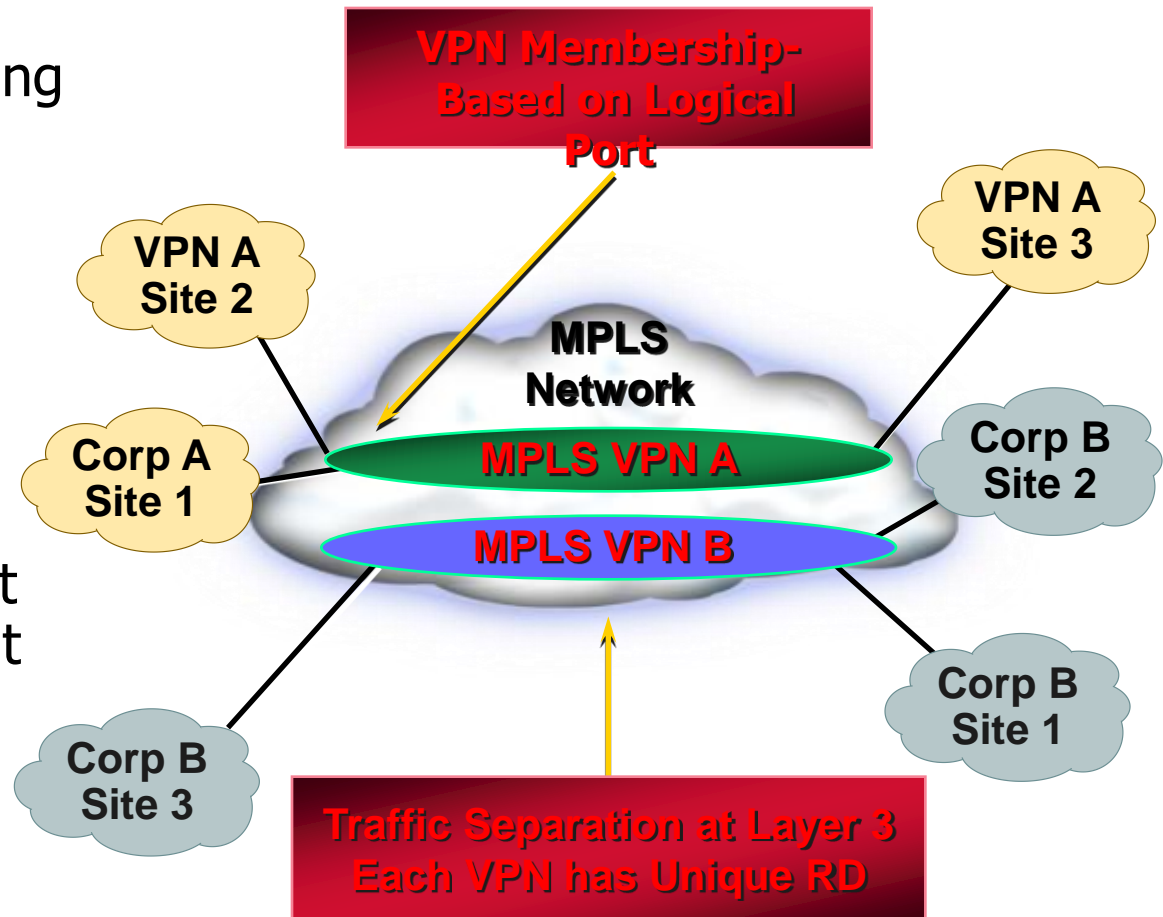


MPLS alapú IP-VPN Architektúra

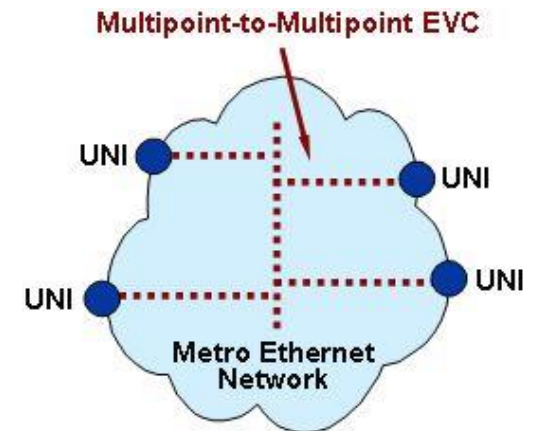
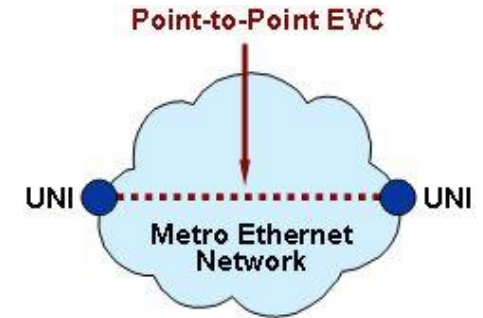


BME-TMIT

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



- 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

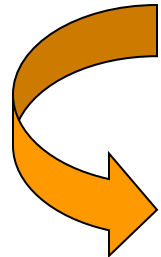
- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállítás
- MPLS VPN szolgáltatások
- **GMPLS**

Az MPLS evolúciója

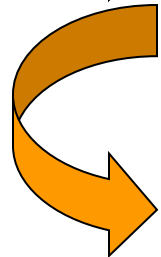


BME-TMIT

IETF
46-48



IETF
48-49



IETF
50-51



- **MPLS**: MultiProtocol Label Switching
 - IP csomag alapú
 - Packet Traffic Engineering (**MPLS-TE**)
- **MP λ S**: 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

- 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

- 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 -