

# Integration of Routing and Switching

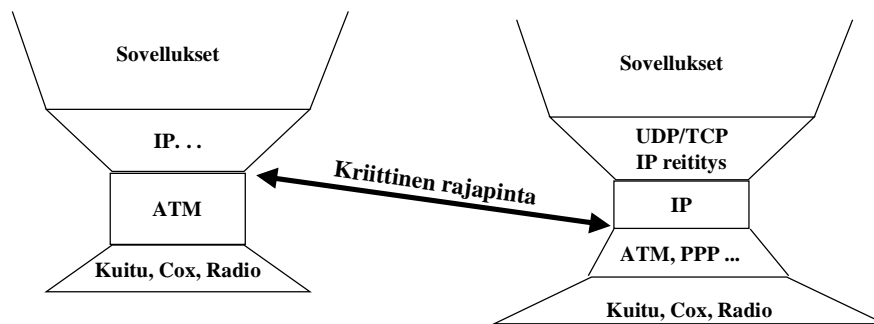
## Label Switching & IP switching

*The goal is to avoid executing packet forwarding algorithm for each and every packet and replace it with switching in hardware. The result is faster and less expensive IP network with Integrated Traffic Engineering Mechanisms.*

- Motivaatio
- Historia
- Leimakytkennän periaate ja ominaisuudet (MPLS)
- Leimojen levitys protokolla
- Liikenteen hallinta ja MPLS

## ATM vs IP integraattorina

*ATM fanien (Bellheads) vanha käsitys* ↔ *IP fanien (Netheads) käsitys*



*IP -kytkentä ja leimakytkentä ovat ilmentymiä teknologian suuntakamppailusta kriittisellä IP/ATM -rajapinnalla.*

## IP over ATM ratkaisujen perusongelma on voiden suuri lukumäärä ja pieni koko

- Vuo on peräkkäisten pakettien virta tietystä lähde- IP-osoitteesta (tai prefiksistä) tiettyyn kohde IP-osoitteeseen (käyttäen tiettyä UDP/TCP -porttiparia tai porttia) vrt. TCP-istunnossa lähetetyt paketit
- Vuon keskipituus Internetissä lienee alle 10 000 oktettia
- 1 Gbit/s linjanopeudella saadaan
  - 12500 vuota syntyy ja lakkaa sekunnissa
  - 450 M vuota syntyy ja poistuu reitittimessä, jossa on 10 porttia
  - 100...1000 kertaa liikaa, jotta jokainen vuo voisi olla “puhelu”

## Monta yritystä on tehty IP:n sovittamiseksi ATM:n päälle

- Classical IP over ATM
- LANE - LAN Emulation
- MPOA = laajempaan verkkoon venytetty LANE
  - kaukana ATM-verkossa olevia kohteita voidaan liittää osaksi IP-verkkoa muodostamalla niihin virtuaaliyhteyksiä (=soittamalla “ATM-puhelu”) liikennetarpeen mukaan

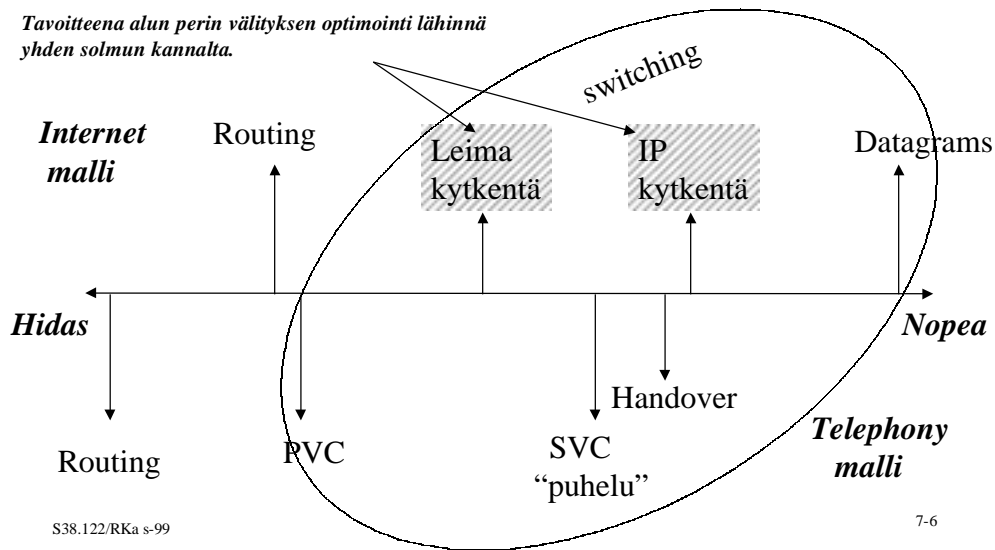
*Kaikkien näiden ratkaisujen haittoja ovat monimutkaisuus, tehottomuus ja huono skaalautuvuus*

## Mikä on vikana puhtaassa IP-verkossa?

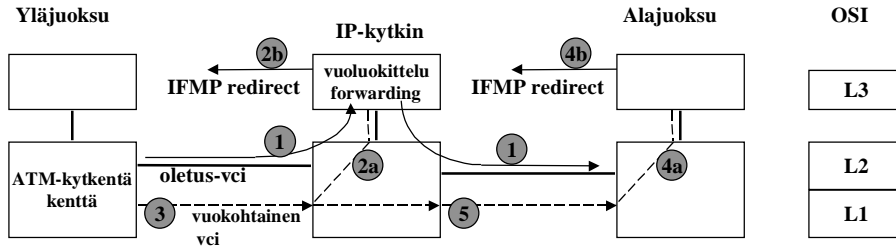
- Ei takaa palvelun laatua.
- Packet forwarding longest match kohdeosoitehaulla on hitaahko operaatio
  - voidaan kiihdyttää laitteistolla, mutta ratkaisun ylläpidettävyys on hankala juttu
- Lyhimpään polkuun perustuva reititys rajoittaa operaattorin mahdollisuuksia hallita verkon liikennettä ja käyttää verkon resursseja tehokkaasti
  - Koska ei ole keinoa kiinnittää menossa olevia voita nykyisille poluille, on vaikea tehdä vaihtoehtoista reititystä.

## Reititys on kytkentää hitaampi tapa ohjata verkon resursseja vastaamaan liikennettä

*Tavoitteena alun perin välityksen optimointi lähinnä yhden solmun kannalta.*



## IP kytkentä vähentää reitittimen kuormaa kytke- mällä osan liikenteestä suoraan ATM-kentän läpi



1. IP kytkimet toimivat normaaleina reitittiminä. IP-paketit lähetetään oletus VCI:llä. Lisäksi reitittimessä toimii vuoluokittelija.
2. Vuoluokittelija on tunnistanut vuon, 2a - IP-kytkin varaa yläjuoksulta uuden VCIn vuolle. 2b - IP kytkin lähettää yläjuoksun naapurille IFMP redirect sanoman.
3. Yläjuoksun IFMP-solmu ohjaa kaikki yo vuohon kuuluvat paketit varatulle VCI:lle. Ensimmäinen paketti toimii IFMP redirect sanoman kuittauksena.
4. Alajuoksun IP-kytkin/reititin on myös havainnut vuon ja lähettää redirect sanoman.
5. IP-kytkin kytkee reititin prosessorin pois luupista kytkemällä vuon ATM-kentän läpi.

## (IPSILONin) IP-kytkennän piirteitä

- Vuotyyppejä on useita
  - lähde IP-osoite, kohde-IP-osoite + monta pakettia
  - lähde IP-os, kohde-IP os, TCP/UDP-portti
- Vuon paketeilla on oma kapselointi
- Viimeinen alajuoksun IFMP -solmu, joka käsittelee pakettia prosessorilla, asettaa paketin TTL:n oikeaan arvoon.
- IP -kytkentä on *liikenneohjautuva päästä päähän* ratkaisu
- Noin 70 - 80% paketeista voidaan kytkeä voina

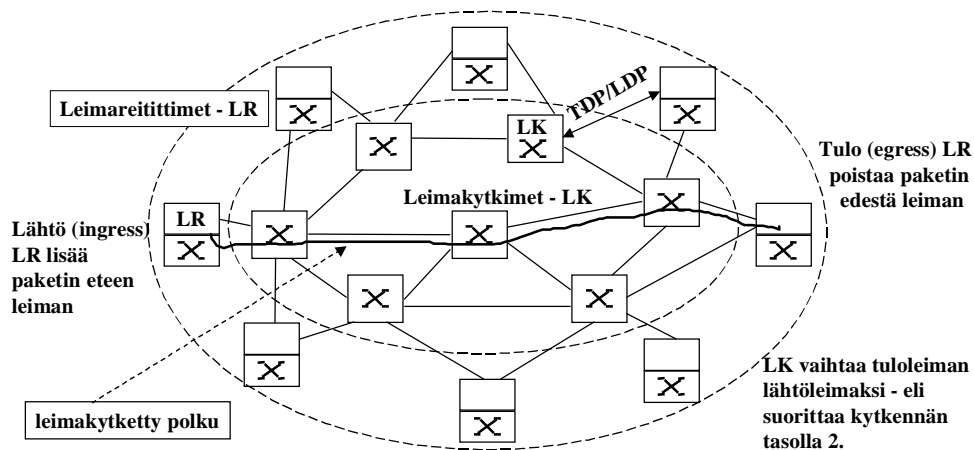
## IPSILON:in tulo markkinoille synnytti joukon kilpailevia ratkaisuja

- Cisco: Tag Switching
- IBM: ARIS - Aggregate route based IP switching
- Toshiba: CSR - Cell switch router
- Juha Heinänen: SITA - Switching IP through ATM

*Uutena konseptina nämä tuovat topologiaperustaisen kytkennän.*

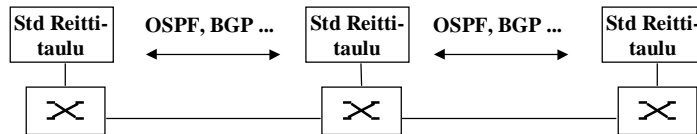
Järjestystä luomaan ryhtyi IETF -  
MPLS - MultiProtocol Label Switching aktiviteetilla.

## Topologiaperustaisessa leimakytkennässä leimakytkentäalueelle luodaan (täysin) kytketty VCC verkko kaikkien solmujen välille



## Leimakytketty verkko toimii näin: vaihe 1

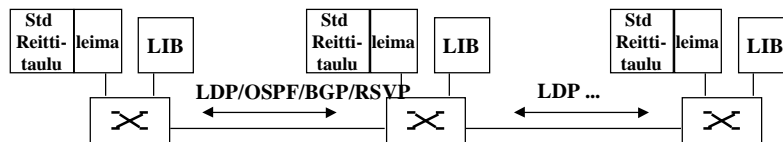
1. **Leimareitittimet ja leimakytkimet toimivat normaaleina reitittiminä (suorittavat OSPF, BGP, jne protokollia).**



## Leimakytketty verkko toimii näin: vaihe 2

### 2. LR ja LK

- käyttävät reititysprotokollien luomaa reitikkantaa leimojen asetteluun ja
- levittävät leimat reititys-, RSVP tai LDP -protokollalla.
- Vastaanotetuista tiedoista LR rakentaa leimatietokannan.

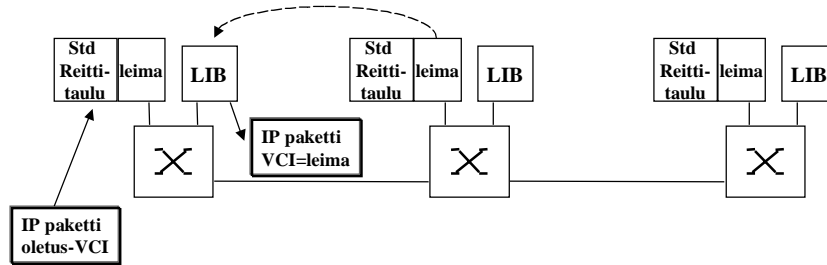


- *MPLS ryhmä on julkaissut LDP luonnoksen ( viimeisin 10/99).*

## Leimakytketty verkko toimii näin: 3

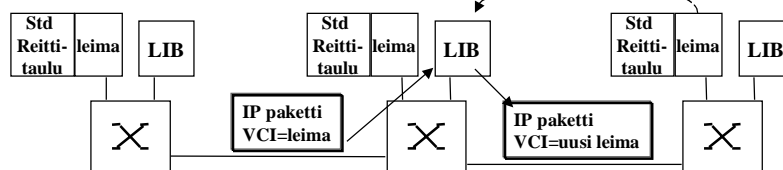
3. Kun reuna-LR vastaanottaa alueen ulkopuolelta paketin,

- se analysoi paketin otsikon, suorittaa kerroksen 3 palvelut,
- hakee reittikannasta ulosmenoliitännän ja leiman leimakannasta,
- lisää leiman paketin otsikkoon ja välittää paketin seuraavalle LK:lle.

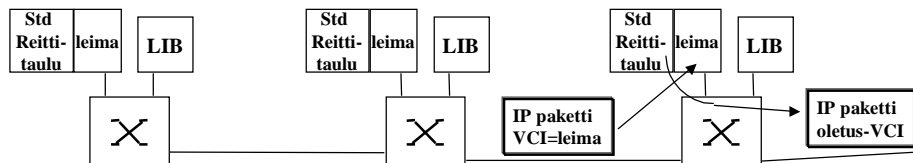


## Leimakytketty verkko toimii näin: 4, 5

4. LK vastaanottaa leimatun paketin tasolla 2, vaihtaa tuleleiman lähtöleimaan ja välittää paketin ulosmenoliitännään.



5. Ulostuloreunalla LR poistaa leiman paketista ja reitittää sen IP -otsikon perusteella eteenpäin.



## Leiman kuljetustapoja on monia - leimakytkentä on riippumaton MAC -kerroksesta

### Leimoja voidaan kuljettaa:

- osana MAC otsikkoa (esim ATM VPI/VCI)
- osana verkkokerroksen otsikkoa (vuoleima IPv6:ssa)
- MAC-kerroksen ja verkkokerroksen väliin määriteltävässä uudessa “shim” kerroksen otsikossa



*Tehokas leimojen käsittely vaatii leimakytkennän laitteistototeutusta:*

*- ATM:ssä leimakytkentä toteutuu ATM-kytkentänä ATM-kentässä*

## Leimoja voidaan liittää paketteihin usealla eri perusteella

- **Leima voidaan kytkeä (LDP) IP-osoitejoukkoon, jota nimitetään FEC - Forwarding Equivalence Class.**
  - Kaikki FEC:iin kuuluvat paketit saavat saman MPLS-käsittelyn
  - FEC voi olla IP-osoite prefiksi (0...32 bits).
  - FEC voi olla Isäntäkoneen osoite (tällä on korkeampi prioriteetti)
  - ( esim vois myös ajatella: FEC on multicast -osoite ja leima liittyy siten multicast-puuhun)
- **Puhutaan vuon granulariteetista.**



## Leimakytkimen taulut ovat

Reittitaulu

Prefiksi	Next hop	Leima
prefix1	Solmu1	Leima1
...	...	...
prefixn	Solmum	Leimap

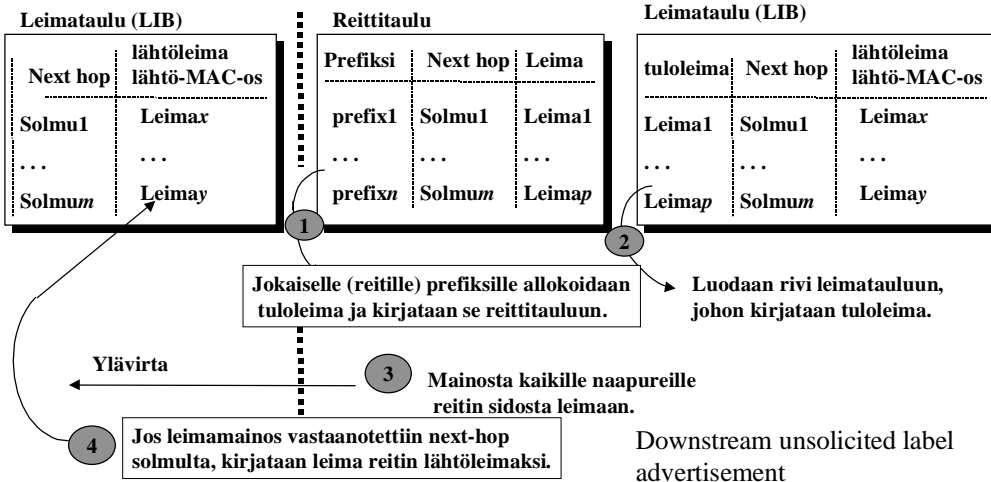
Leimataulu (LIB)/solmu tai/tuloportti

tuleleima	Next hop	lähtöleima lähtö-MAC-os
leima1	Solmu1	leimay
...	...	...
leimap	Solmum	leimax

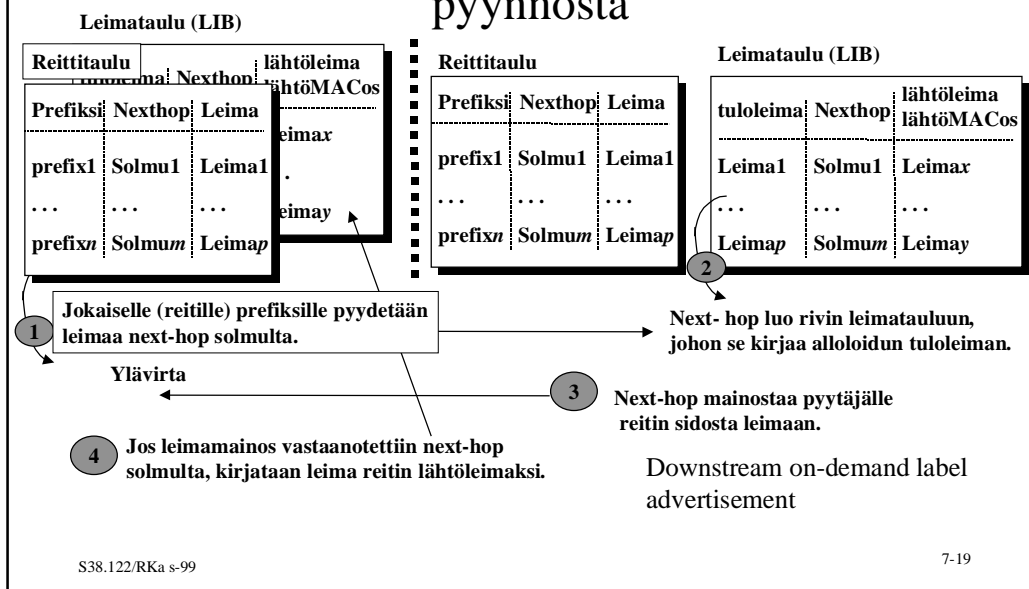
Jos lähtöleima = VCI, LIB-rivin täytyy sisältää myös TTL-decrementti eli leimakytketyn polun pituus (peräkkäisten linkkien lkm), jotta TTL voidaan decrementoida oikeaan arvoon ennen lähetystä ingress(lähtö)reitittimessä.

## Leimojen asettelu voi tapahtua joko pyynnöstä alavirtaan tai alavirrasta ilman pyyntöä

Nämä ovat leimojen mainostustapoja



## Alavirtaan asettelu voi tapahtua myös pyynnöstä



## Leimojen levityksen ohjaukselle verkossa on kaksi tapaa

- Independent Control Mapping: lähetä kun
  - uudelle FEC:lle FIB:ssä, kun mainos tulee alavirrasta pyynnöttä
  - Ylävirran LR:ltä vastaanotetaan leimapyyntö tunnetusta FEC:stä
  - FEC:n seuraava hyppy muuttuu ja silmukoiden poisto on päällä
  - leimakytkennän attribuutit muuttuvat
  - vastaanotto alavirralla AND (ylävirran leimaa ei ole tai silmukoiden poisto tai leimakytkennän attribuutit ovat muuttuneet)

*--> Solmut toimivat pitkälle autonomisina ja leimojen asettelua etenee satunnaisprosessina*
- Ordered Control Mapping - on vaihtoehto

## Ordered Control Mapping - järjestysohjattu leimojen asettelu tapahtuu tulosolmun aloitteesta

- Alavirran LR lähettää, kun joku ao. ehdoista täyttyy:
  - FEC:n Egress solmu havaitsee uuden FEC:n
  - Ylävirrasta tulee pyyntö tunnetusta FEC:stä ja LR on tuon FEC:n egress tai sillä on alavirran leima jo asettu
  - FEC:n seuraava hyppy muuttuu ja silmukoiden poisto on päällä
  - Leiman kytkennän attribuutit muuttuvat
  - Alavirrasta tulee leimasanoma AND (
    - a) ylävirran leimaa ei ole kytketty TAI
    - b) silmukoiden poisto on päällä TAI
    - c) leimakytkennän attribuutit ovat muuttuneet)

## Leimojen ylläpitokäytännöt (label retention modes)

- Konservatiivinen (Conservative Label Retention Mode)
  - Jos leimoja levitetään pyynnöitä, niitä voi tulla kaikilta naapureilta tietyille FEC:lle. Säilytetään vain ne, jotka tulevat FEC:n seuraavalta hypyltä
  - säästää leima-avaruutta, mutta hidastaa toipumista reitin muuttuessa
- Liberaali (Liberal Label Retention Mode)
  - säilytetään kaikilta naapureilta tulleet leimat. Pyyntömoodissa pyydetään enemmän leimoja kuin just nyt tarvitaan
  - nopeuttaa elpymistä, mutta kuluttaa leima-avaruutta

## Reitin valinta leimakytketyssä verkossa voi tapahtua hop-by-hop tai explisiittisesti

MPLS arkkitehtuurissa on varauduttu tukemaan

1. Pakettiverkoille tyypillistä *hop-by-hop reititystä*.
2. *Explisiittistä reititystä*, jossa leima-alueen lähtö- tai kohdereitin laskee kerralla reitin koko verkon läpi esim. konfiguraatitiedon (policy) tai verkon tilatiedon perusteella.
3. Uusien explisiittisten reittien toteutus vaatii uusien leimojen allokointia ja levitystä. Jos expl. reitti perustuu uusiin tilatietoihin (esim a-la PNNI), tuloksena on *adaptiivinen reititys*.
4. Leimakytketty polku on rakennettu joko hop-by-hop tai explisiittisesti. Sekarakenteiset polut voivat johtaa silmukoihin ja siksi niitä ei tueta.

## Leimalevitysprotokolla (LDP) on yksi leimareitittimien tapa levittää, pyytää ja vapauttaa leimoja

*Draft-ietf-mpls-ldp-06.txt (October 1999), 94s www-print*

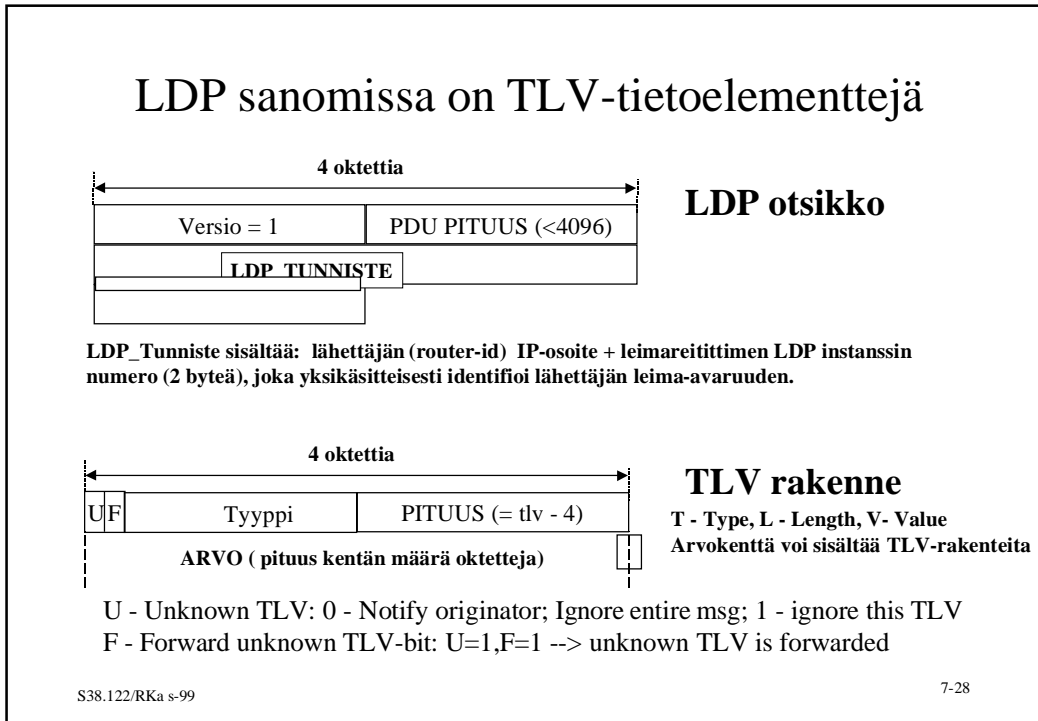
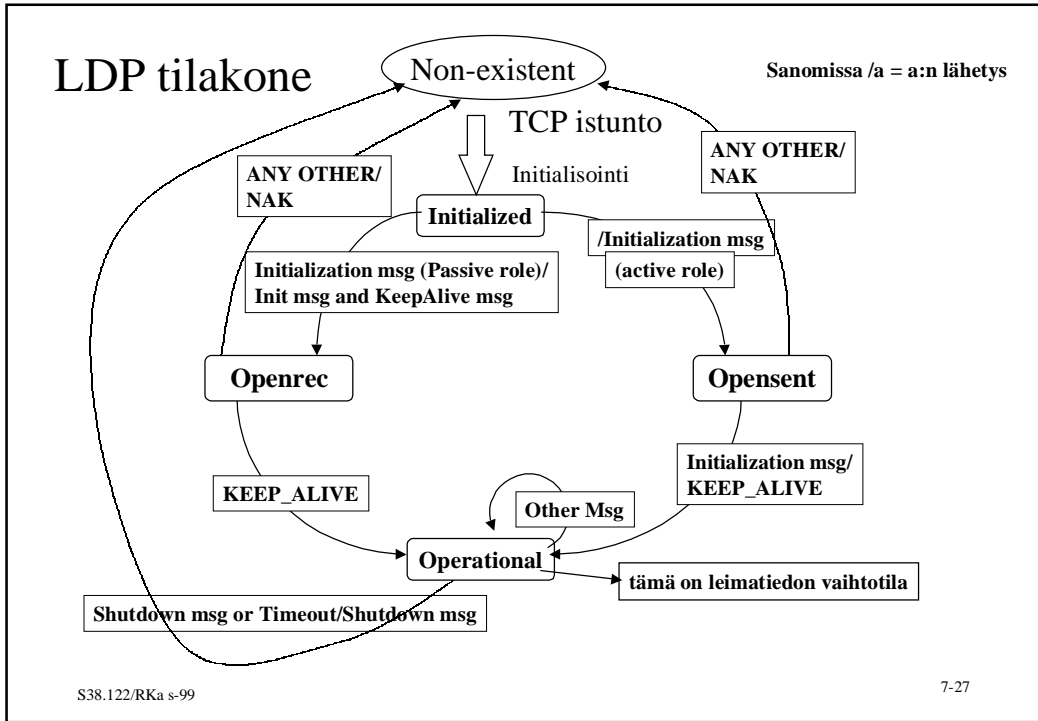
- Leimaperiaate tukee useita verkkoprotokollia (IPv4, IPv6, IPX ...)
- LDP avaa, monitoroi ja sulkee TCP-istuntoja dynaamisesti vertais-leimareitittimien (peer LSR - Label Switching Router) välillä.
- Yhtä LDP istuntoa vastaa aina yksi TCP -istunto. LDP-istunto vastaa tietystä leima-avaruudesta.
- LDP on symmetrinen. Leimatietoa voidaan lähettää molempiin suuntiin.

## LDP ylläpitää dynaamista VCC konfiguraatiota, jolla pakettiverkon reititystä optimoidaan

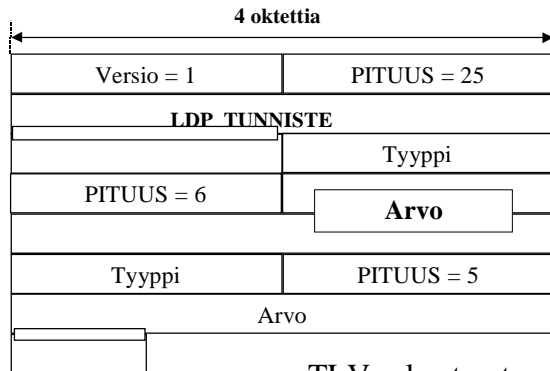
- LDP:llä on oma istunnon pitoaikavalvonta.
- LDP-istunto suljetaan, jos leimatietoa ei siirretä pitoajastimen aikana.
- Kun istunto suljetaan, kaikki leimat vertaisreitittimen kanssa vapautetaan.
- Vaihtoehtoisia tapoja asetella leimoja ovat
  - leikojen kuljetus reititysprotokollan (OSPF, BGP) sanomissa
  - RSVP - Resource reSerVation Protocol

## LDP toimii pääasiassa TCP:n päällä vertaissolmujen välillä

- Vertaissolmut löydetään lähettämällä hakusanoma (Discovery) UDP:n päällä joko “aliverkon kaikki reitittimet” -osoitteeseen, jolloin löytyvät välittömät naapurit TAI lähettämällä sanoma tunnetun LR:n IP-osoitteeseen
  - vm. tapauksessa haetaan verkossa kauempana olevaa kohdetta, jonne muodostetaan sisäkkäinen (nested) leimareitti
- Kaikki muut sanomat kulkevat TCP:n päällä

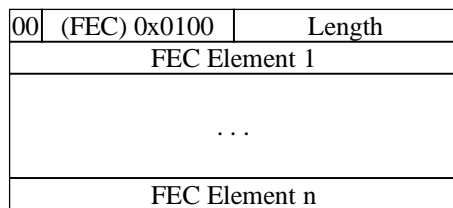


## Esimerkki LDP-sanoma

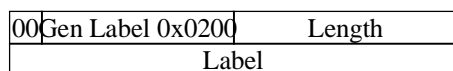


TLV-rakenteesta on myös poikkeuksia, jotka tiivistävät sanomien pakkausta

## FEC - Forwarding Equivalence Class TLV



FEC Element Types: - käyttötapa  
 Wild Card 0x01 - Label withdraw, release  
 Prefix 0x02 - Osoiteprefiksi  
 Host Addr 0x03 - Isäntäkoneen osoite



Leima voi käytännössä olla ATM:n VPI+VCI (12+16 bit)  
 tai FR DLCI (10, 17 tai 23 bit)

## LDP:n sanomatyyppejä ovat

Notification	- Vakavat ja ei-vakavat virheilmoitukset
Hello	- Naapuruussuhteiden ylläpito (Välittömät ja osoitteelliset naapurit)
Initialization	- LDP istunnon alustus
KeepAlive	- Istunnon virkistyssanoma
Address	- Osoitesanoma (sisältää LR I/f osoitelistan)
Address Withdraw	- Osoitteiden poisveto
Label Mapping	- Leimojen asettelu
Label Request	- Leimojen pyyntö
Label Abort Request	- Leimojen tuhoamispyyntö
Label Withdraw	- Leimojen poisveto
Label Release	- Leimojen vapauttaminen

## Liikennepohjainen vs. topologiapohjainen kytkentä

### Liikennepohjainen

- *päästä päähän* hop-by-hop ratkaisu
- sopivuus Internet runkoon =?  
syy: miljoonia voita/linkki
- pientä osuutta liikenteestä koskeva  
policy -pohjainen QoS näyttää  
helposti lisättävältä

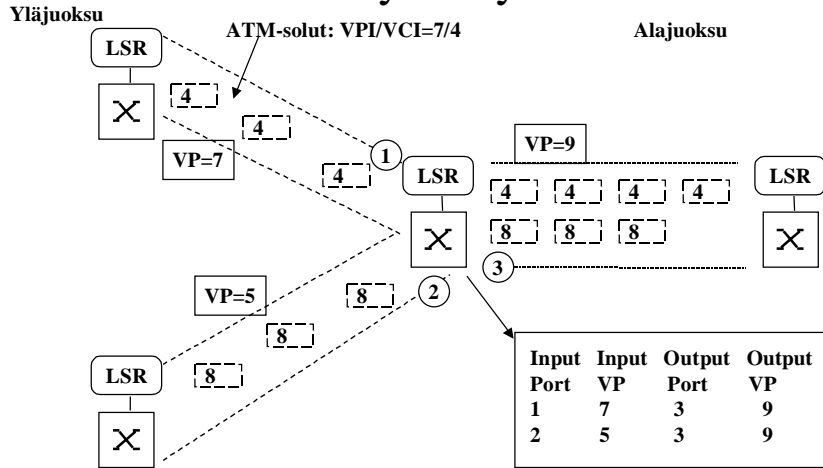
### Topologiapohjainen

- verkon sisäinen hallinta/*leima-alueen*  
laajuinen *hop-by-hop ja explisiittinen*  
reititys- ja liikenteen hallinta ratkaisu
- leima- ja reititysominaisuudet ovat  
kokonaan tausta-ajoa liikenteen  
välitykseen nähden => taso 2  
määrittelee suorituskyvyn maksimin
- Kuinka iso leimakytketty alue voi  
todella olla?

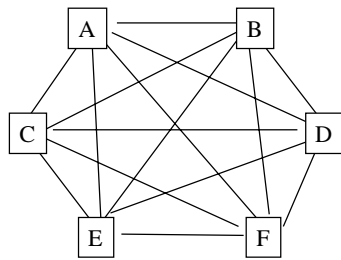
*riippumaton ATM:stä - molemmat periaatteet on mahdollista sovittaa myös suoraan  
Packets-over-Sonet (POS) ratkaisun päälle - tämä johtaa kuitenkin uudenlaiseen leima-  
kytkin hardwareen*



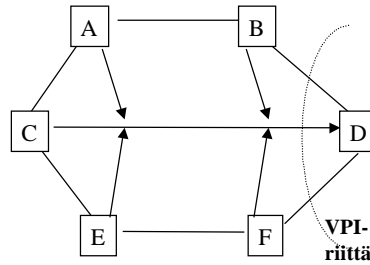
# Pohde1: Leimapoluilla kohteeseen VP:t yhdistyvät



# Virtuaalipolkujen yhdistäminen vähentää yhteyksien kokonaismäärää



$N \times (N-1)$  -yhteyttä  
 $N$  = reittien lkm



$O(N)$  mpt-to-pt yhteyttä.  
 Skaalautuu paremmin

VPI- avaruus riittää pitempään

VC merge

VC - virtual connection ("ATM-puhelu")

## Reitityssilmukat leimakytketyssä verkossa on joko havaittava tai estettävä

- **Leimapolut seuraavat IP-reitityksen tuottamaa reititystietoa.**
- **Jos IP-tasolla silmukat ovat mahdollisia, sama pätee leimakytkettyyn tasoon.**
- **Tarvitaan vastakeinoja.**
  - **Polkukuvaus (LDP-sanoman reitti) voidaan kuljettaa LDP:n avulla**
  - **Polut muodostetaan “väritettyjen säikeiden” avulla (Toshiba ja Cisco )**

## MPLS:lle on asetettu liikenteen hallintavaatimuksia

RFC 2702: “Requirements for Traffic Engineering over MPLS”, 28 s, 9/99.

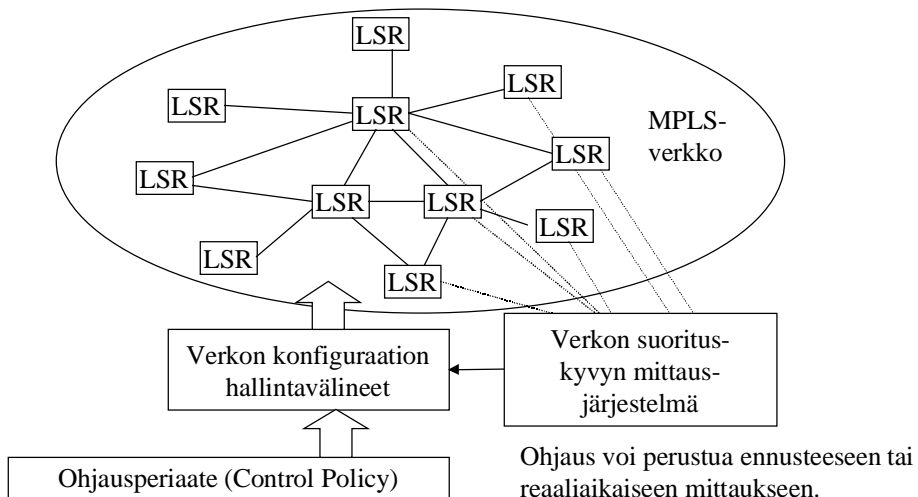
Traffic Engineering (TE) is concerned with **performance optimization of operational networks**. TE encompasses the application of technology and scientific principles to the **measurement, modeling, characterization and control of Internet traffic** and the application of such knowledge and techniques **to achieve specific performance objectives**.

*Measurement and Control* are the aspects of TE that concern MPLS.

## Liikenteen hallinnan suorituskykytavoitteet jaetaan

- Liikenteeseen liittyviin
  - parantaa liikennevirtojen kokemaa palvelun laatua
  - pakettihukan, viiveen, viiveen vaihtelun pienentäminen
  - verkon välittämän liikenteen määrän maksimointi
  - palvelusopimusten (SLA) täyttäminen
- Resurssien käyttöön liittyviin
  - resurssien käytön optimointi
  - ruuhkien torjunta osassa verkkoa, kun toinen osa verkosta on vain vähän käytössä ts. Kun liikennevirrat on kuvattu verkkoon tehottomasti.

## Liikenteen hallinnan malli MPLS-verkossa



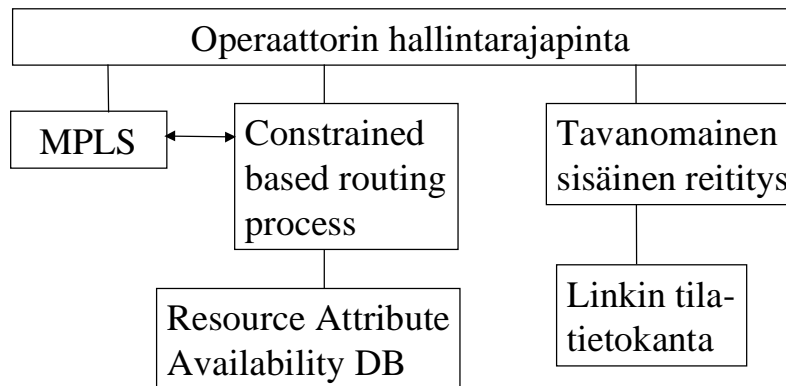
## Lyhimpään polkuun perustuva reititys voi aiheuttaa liikenteen hallintaongelmia

- Liian monien liikennevirtojen lyhimmät polut voivat yhdistyä tietyllä linkille tai tietyn reitittimen tiettyyn porttiin
- tietty liikennevirta voidaan yrittää ahtaa linkille, jonka kapasiteetti on alle liikennevirran vaatimuksen
- samaan aikaan verkossa voi olla olemassa vaihtoehtoinen vaatimukset täyttävä (feasible) reitti.

## IP over ATM ja FR -ratkaisuiden etuja ovat

- FR tai ATM -verkossa voidaan muodostaa mielivaltainen looginen topologia, joka näkyy IP-reititykselle
  - Constraint based routing at the VC -level
  - Operaattorin konfiguroimat staattiset virtuaalipolut
  - IP:n näkemien reittien hyppyjen määrän minimointi
  - CAC - call admission control - pääsyn kontrolli
  - liikenteen muokkaus ja rajoittaminen
  - yhteyksien elvytys (survivability) VC -tasolla

## MPLS tavoitemallin liikenteen hallinnan kannalta



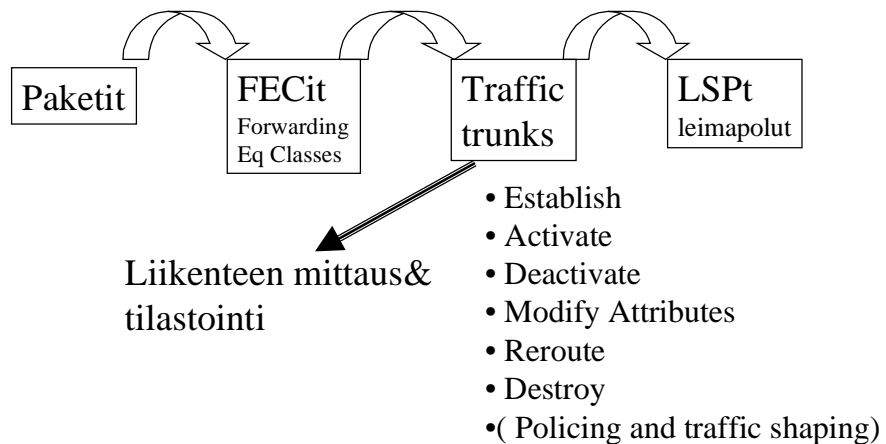
## MPLS liikenteen hallinnan termejä

- Traffic trunk - aggregation of traffic flows of the same class which are placed inside a Label Switched Path
  - object for routing
  - LSP -leimapolku + attribuutteja
- Induced MPLS-graph (leimapolkugraafi)= $H = (U, F, d)$ , jossa  $U \subseteq V$  - verkon kaikkien solmujen joukko ja jossa solmulla  $u \in U$  on ainakin yksi leimapolku,  $F$  - leimapolkujen joukko ja “ $d$ ” - leimapolkuihin kohdistuvien vaatimusten ja rajoitteiden joukko

## MPLS:n houkuttelevuus liikenteen hallinnan kannalta perustuu näihin seikkoihin

- Explisiittisiä ei-lyhimmän polun reittejä voidaan helposti luoda ja ylläpitää manuaalisesti tai protokollien avulla
- liikenneagregaatteja (traffic trunk) voidaan helposti kuvata leimapoluille
- liikenneagregaatteja ja resursseja voidaan kuvata dynaamisilla attribuuteilla - resurssiattribuutit rajoittavat liikenneagregaatien reititystä
- liikennevirtoja voidaan koota, mutta myös hajottaa
- IP-reitiys+MPLS on operaattorin kannalta yksinkertaisempi(?) kokonaisuus kuin IP + erillinen ATM- tai FR -alusverkko

## MPLS liikenteen hallinnan mekanismit



## MPLS yhteenveto

- Työ on edistynyt hitaasti. MPLS -ryhmä on tuottanut vain Internet Drafteja. (Network WG) -toinen ryhmä on tuottanut yhden RFC:n (RFC 2702)
- IPR:t (teollisoikeudet) saattavat olla hidastava tekijä
- Työn motivaatio on muuttunut matkan varrella
  - nyt lupaavimmalta näyttää reitityksen rikastaminen ja paremman liikenteen hallinnan saavuttaminen IP-verkossa
  - turvallisten VPN:ien (virtuaaliverkkojen) muodostus MPLS:n avulla on myös tärkeä tavoite