

Linkkikerros, osa 2: *layer-2 verkot*

CSE-C2400 Tietokoneverkot

11.03.2014

Matti Siekkinen

Viime luennolla

- Periaatteet datalinkki kerroksen palveluissa:
 - virheiden havainnointi, korjaus
 - usein epäluotettava palvelu (Ethernet), joskus luotettava (Wi-Fi)
- Monipääsyprotokollia tarvitaan jaetuissa kanavissa
 - Kanavan osittaminen (matkapuh.verkot), satunnaispääsy (Ethernet ja Wi-Fi), ”vuorottelu”
- MAC osoitteet
 - Uniikkeja, ei vaihdu kuten IP osoitteet
 - ARP: IP → MAC osoitteenhaku
- Ethernet
 - Yleisin langallinen lähiverkkoteknologia
 - IEEE 802.3 standardi, erilaisia versioita (siirtonopeus, fyysinen siirtotie)

Sisältö

- • Bridging
 - Kytkin ja keskitin
 - Linkkikerroksen verkot
- Spanning Tree Protocol (STP)
- Virtual LAN (VLAN)
- MPLS

Tämän luennon jälkeen...

Ymmärrätte:

- Linkkikerroksen laitteet ja niiden toiminnan
 - Kytkin vs. reititin
 - Mikä on STP ja miten se toimii
- VLAN: miksi tarvitaan ja perustoiminta
- MPLS: toimintaperiaate ja hyödyt

Tiedostatte:

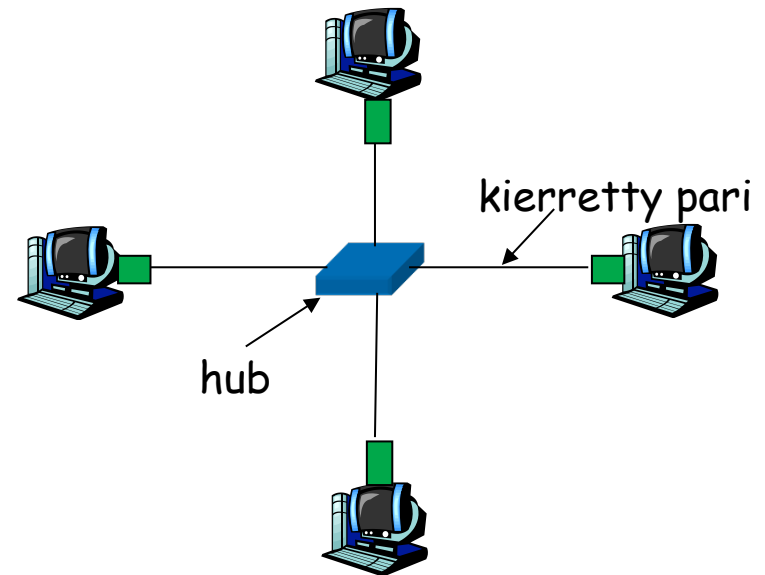
- Mitä ovat RSTP, SPB, TRILL

Bridging: layer-2 verkottaminen

- Bridging: lähiverkkosegmenttien yhdistäminen linkkikerroksen laitteilla
- Käytetään tietynlaisia laitteita
 - Yleisimmin kytkin (switch) ja keskitin (hub)
- Tällaisissa verkoissa käytetään muutamia erityisiä protokollia ja mekanismeja
 - Verkon tehokkaan toiminnan takaaminen
 - Virtuaalilähiverkot (VLAN)
 - Spanning Tree Protocol
- Linkki IP:n näkökulmasta voikin nyt olla kokonainen verkko

Keskitin (Hub)

- fyysisen-kerroksen (“tyhmä”) toistin
- bitit sisään yhdestä linkistä → ulos *kaikkiin* muihin linkkeihin samalla nopeudella
- Paketit kaikista linkeistä, jotka kytketyt hub:iin voivat törmätä keskenään
- Ei kehysten puskurointia
- Ei CSMA/CD hubissa → päätelaitteiden verkkokortit havaitsevat törmäykset
- Keskitin voidaan myös ajatella toimivan kerroksella 1

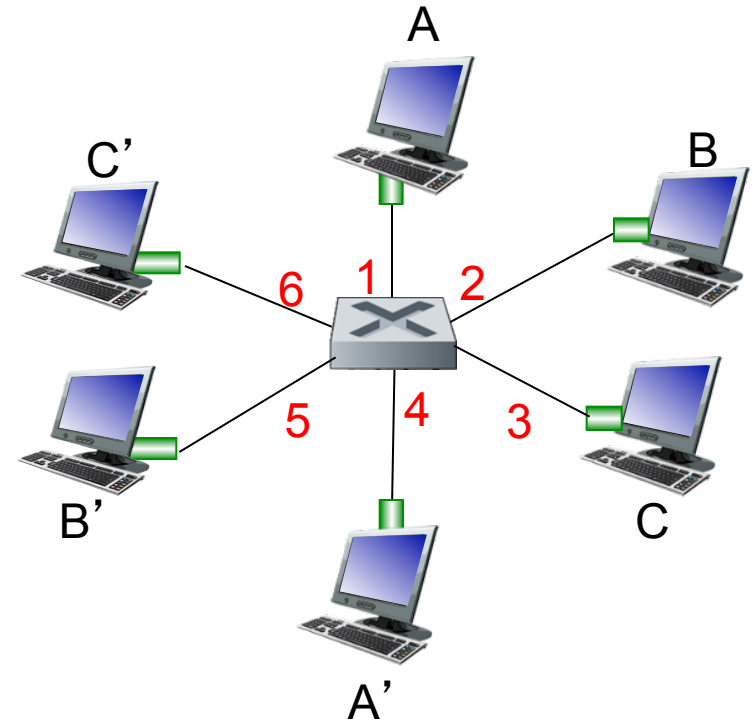


Kytkin (Switch)

- Kytkin on fiksumpi kuin hub
 - Varastoi ja välittää Ethernet kehyksiä
 - Välittää kehyksen eteenpäin yhteen tai useampaan linkkiin MAC osoitteen perusteella
- Läpinäkyvä
 - Päätelaitteet eivät tiedä kytkinten olemassaoloa (samoin kuin hub)
- Plug-and-play, itseoppiva
 - Kytkimen välitystaulua ei tarvitse manuaalisesti konfiguroida

Kytkin: useita samanaikaisia lähetyksiä

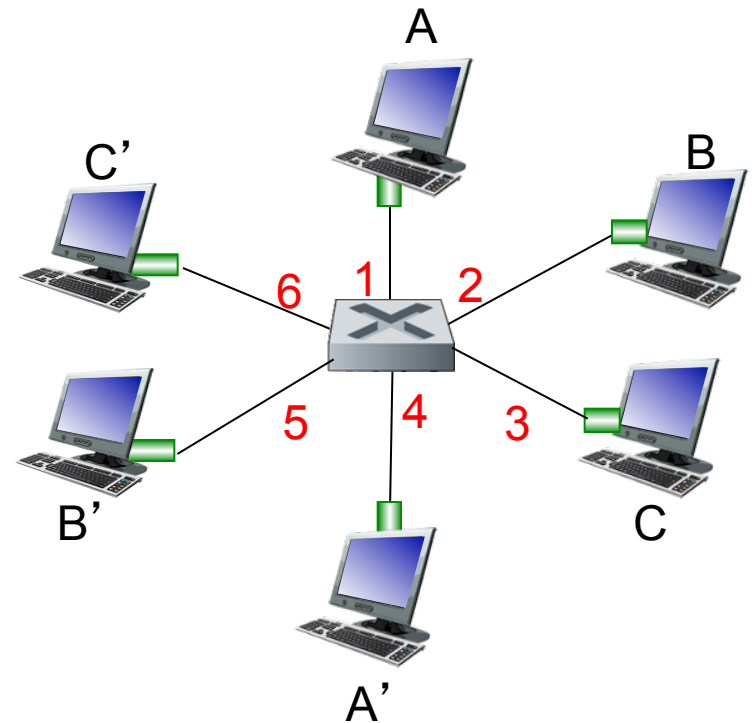
- Tietokoneilla on omat suorat liitännänsä kytkimeen
- Kytkimet puskuroivat paketteja
- *Entä törmäykset ja CSMA/CD?*
- Jokainen linkki on oma törmäysalueensa
 - Full duplex linkit → ei törmäyksiä → ei tarvita CSMA/CD
 - Myös voi olla pidempi kaapeli
 - half duplex → tarvitaan CSMA/CD
 - Max kaapelin pituus lyhyempi
- *Kytkeminen:* A-A' ja B-B' yhtä aikaa, ilman törmäyksiä
 - ei mahdollista hubilla



kytkin jossa kuusi porttia
(1,2,3,4,5,6)

Kytkintaulu

- *Miten kytkin tietää että A' saavutettavissa liitännän 4, ja B' saavutettavissa liitännän 5 kautta?*
 - Jokaisella kytkimellä on **kytkintaulu (Switch Table)**, jokainen rivi:
 - <laitteen MAC osoite, liitäntä jonka kautta saavutetaan tietokone, aikaleima>
 - näyttää reititystaululta
- Kuinka kytkintaulun rivit luodaan ja ylläpidetään kytkintaulussa?*



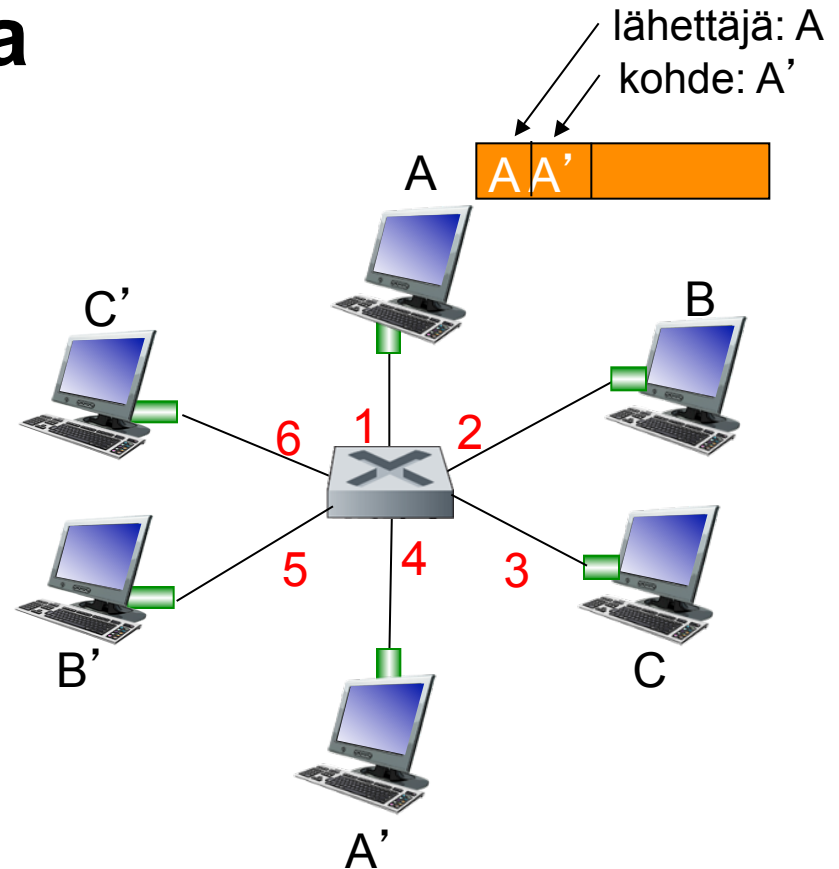
kytkin jossa kuusi porttia
(1,2,3,4,5,6)

Kytkin on itse-oppiva

- Kytkin *oppii*
 - Kun kehys vastaanotetaan, opitaan lähettäjän sijainti
 - Kytkin lisää lähettäjä/sijainti parin kytkintauluun

MAC osoite	liitântä	TTL
A	1	60

kytkintaulu (Switch Table)



Kytkin: kehyksen prosessointi

kun kytkin vastaanottaa kehyksen:

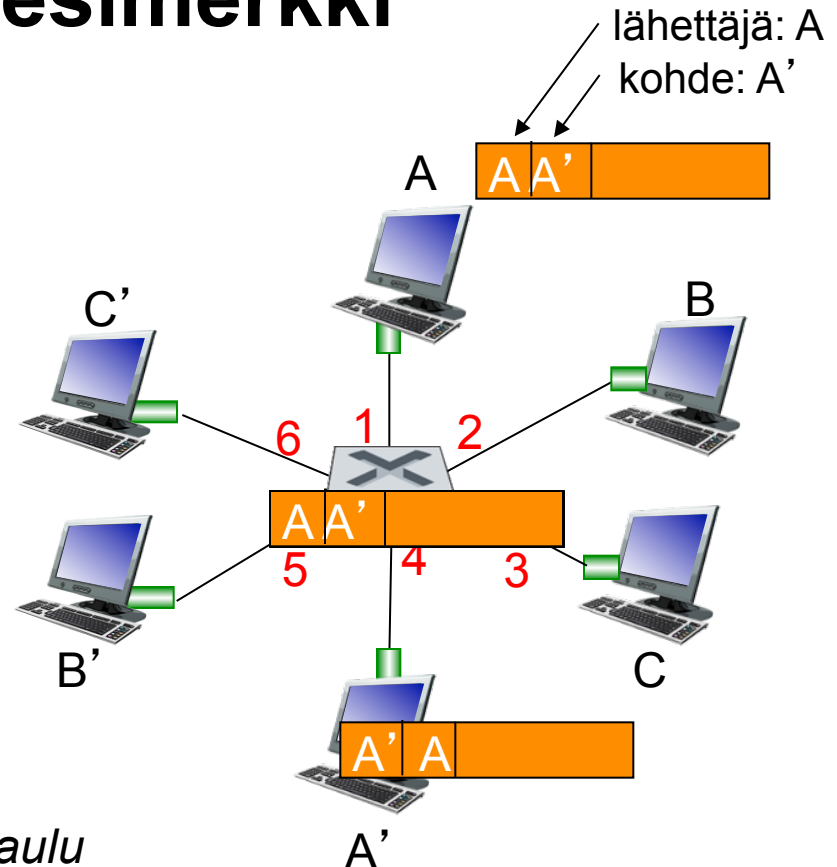
1. tallenna sisääntuloportti (linkki) ja lähettäjän MAC-osoite
2. etsi kytkintaulusta merkintää vastaanottajan MAC-osoitteella
3. **if** löytyi taulusta merkintä
 then {
 if kohde portissa josta kehys saapui
 then hylkää kehys
 else lähetä kehys merkinnän osoittamasta portista
 }
 else flood /* lähetä kaikkiin portteihin paitsi tuloporttiin */

Kytkin on itse-oppiva: esimerkki

- kehyksen kohdeosoite, A', ei löydy taulusta: *floodaa*
- ❖ kohdeosoite A löytyy taulusta: *lähetä vain taulun osoittamaan porttiin*

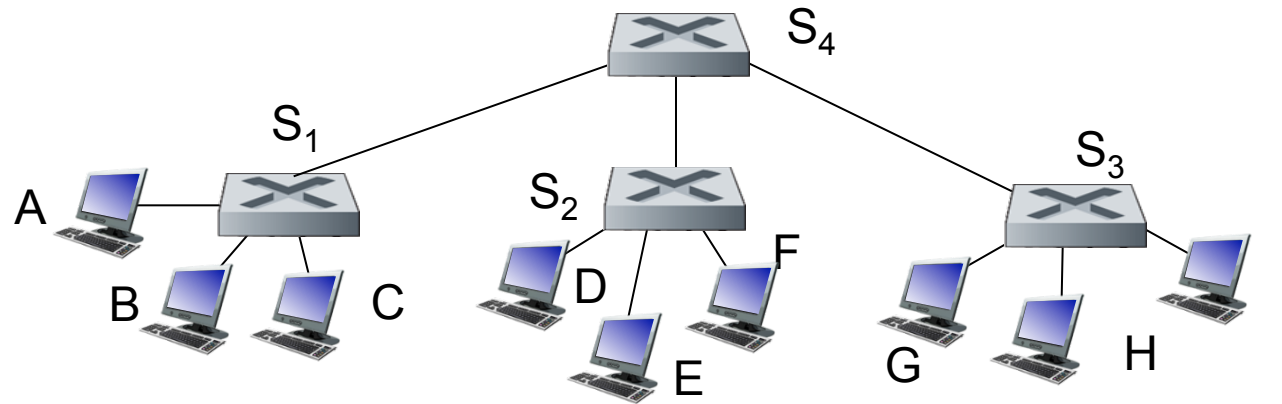
MAC osoite	liitântä	TTL
A	1	60
A'	4	60

*kytkintaulu
(switch table)*



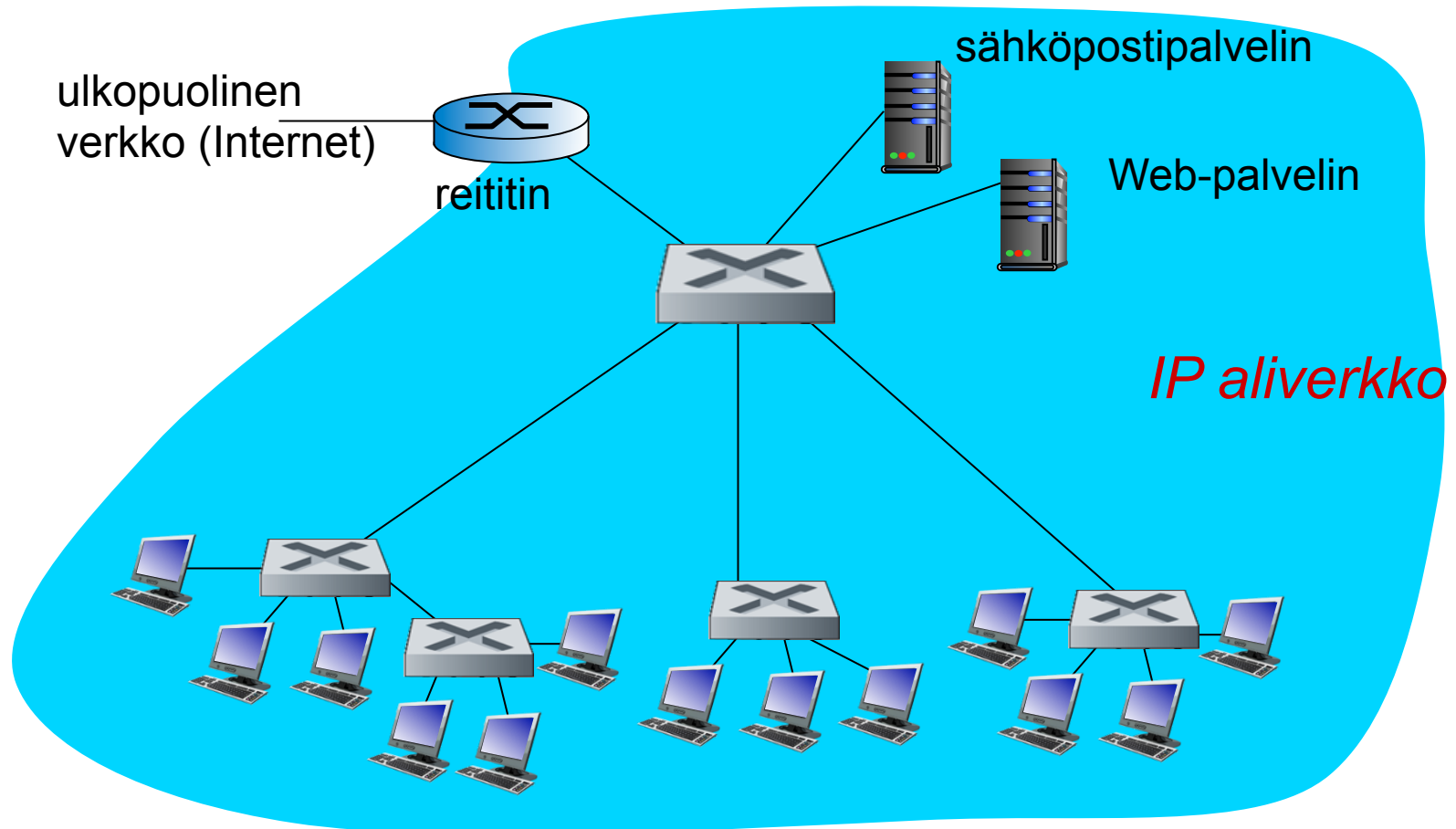
Kytkinten verkottaminen

- Kytkinten avulla voidaan luoda verkko



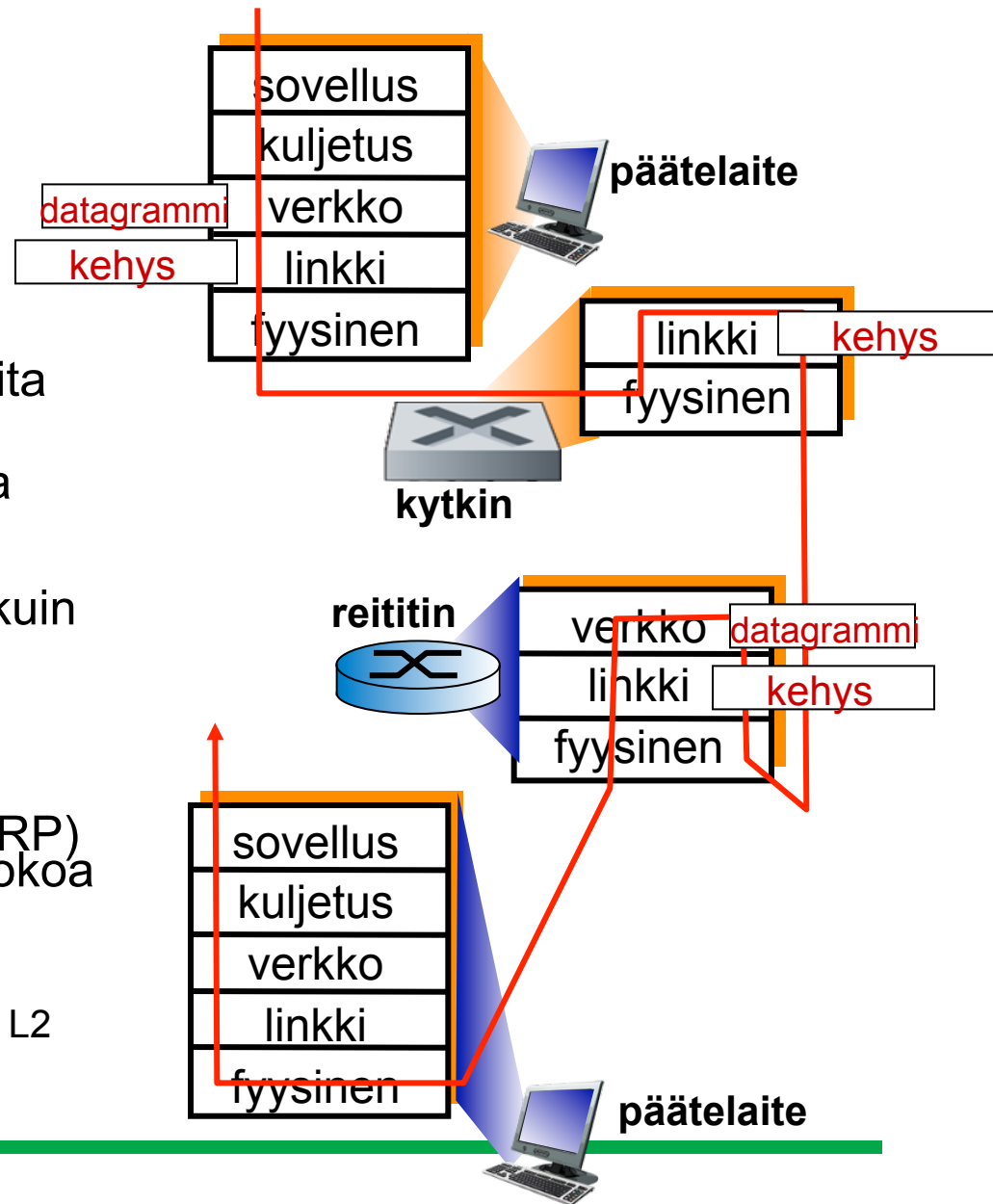
- $A \rightarrow G$: Kuinka S1 tietää että G:lle osoitettu kehys pitää lähettää S4:n ja S3:n kautta?
 - Itseoppivat kytkimet toimivat samoin kuin yhden kytkimen tapauksessa

Kytetty ja reititetty verkko



Kytkin vs. reititin

- Molemmat varastoi-ja-välitä (store-and-forward) laitteita
 - reitittimet: verkkokerros laitteita (tutkivat verkkokerroksen otsakkeen/osoitteen)
 - Kytkimet ovat linkkikerros laitteita
- Reitittimet
 - ylläpitää reititystaulua, toteuttaa reititysalgoritmit
 - ”lyhimmän” reitin valinta
 - (hitaampi paketin prosessointi kuin kytkimessä)
- Kytkimet
 - ylläpitää kytkintaulua
 - oppivat algoritmit
 - yleislähetysprotokollat (esim. ARP) rajoittaa verkon topologiaa ja kokoa
 - Myös flatit MAC-osoitteet (ei aggregointia)
 - Spanning Tree –protokolla
 - Pyritään estämään looppeja koska L2 protokollissa ei ole TTL-kenttiä!

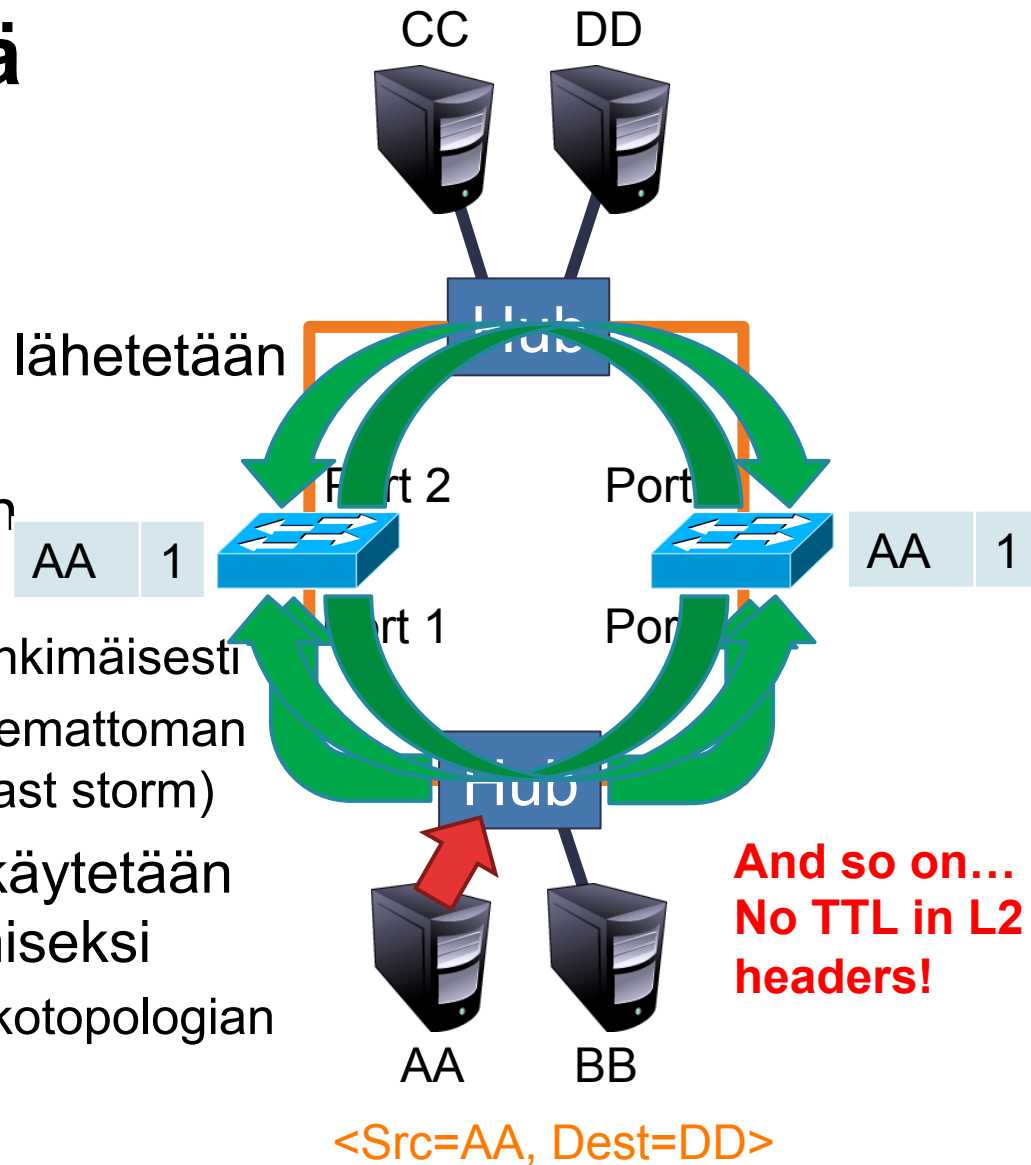


Sisältö

- Bridging
 - Kytkin ja keskitin
 - Linkkikerroksen verkot
- • Spanning Tree Protocol (STP)
- Virtual LAN (VLAN)
- MPLS

Silmukat kytketyissä verkoissa

- Jos ei kohdeosoite tiedossa → lähetetään kaikkiin portteihin
- Floodaus voi johtaa silmukoihin (forwarding loops)
 - Kytkimet yhteydessä toisiinsa ringimäisesti
 - Silmukat voivat aiheuttaa hallitsemattoman yleislähetysten määrän (broadcast storm)
- Spanning tree protocol (STP) käytetään kytkimissä silmukoiden välttämiseksi
 - Muodostaa silmukattoman verkkotopologian

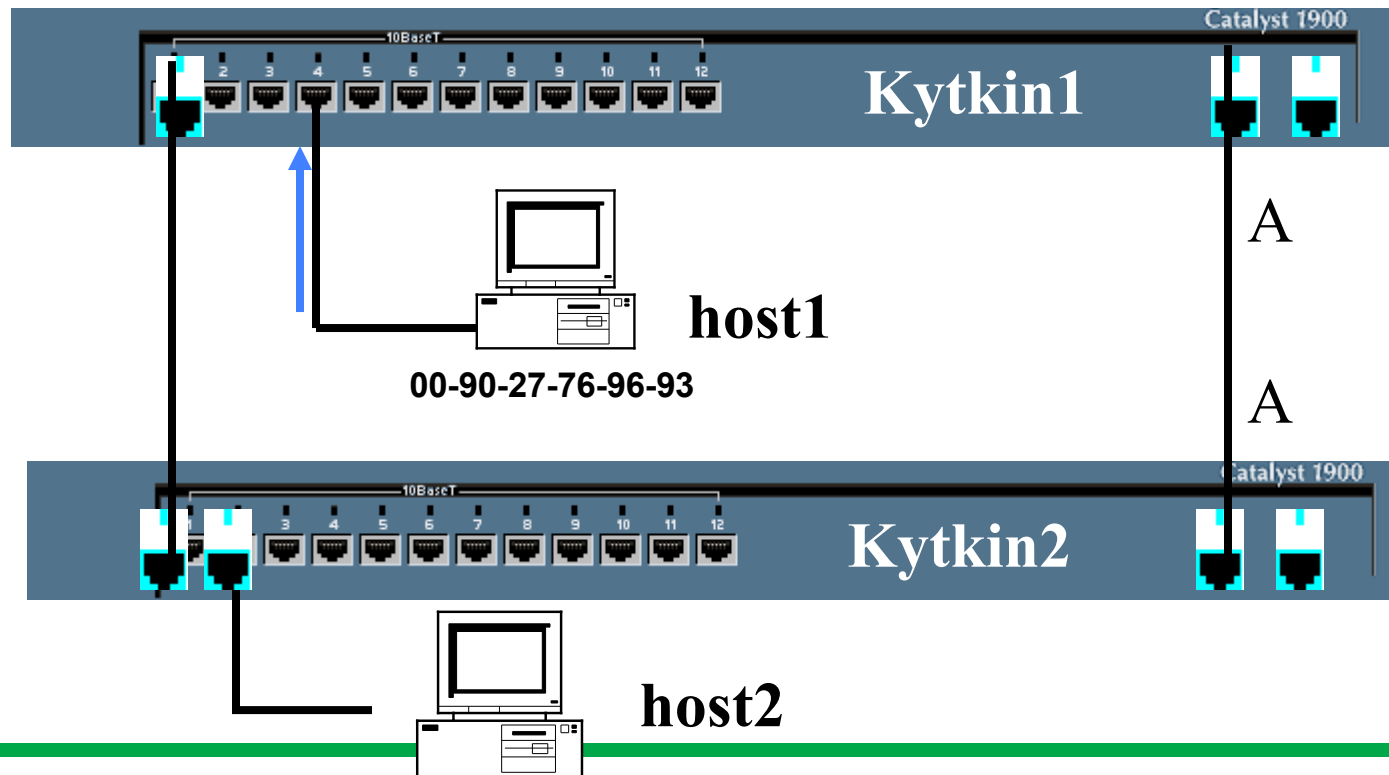


Tuntematon unicast MAC-osoite

Kytkin1 oppii host1:n MAC osoitteen

SAT (Source Address Table)

Port 4: 00-90-27-76-96-93

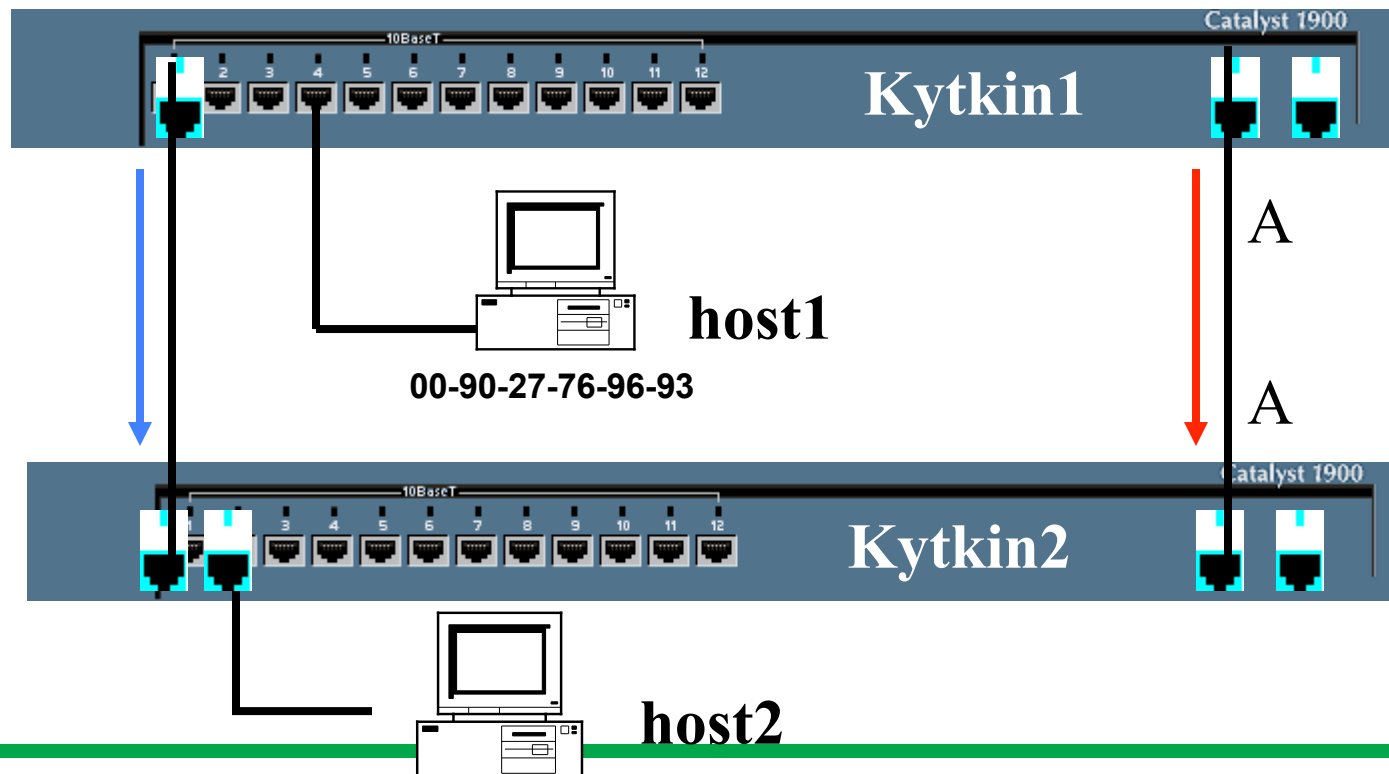


Tuntematon unicast MAC-osoite

Kohde MAC-osoite tuntematon joten
kytkin1 floodaa kehyyksen

SAT (Source Address Table)

Port 4: 00-90-27-76-96-93

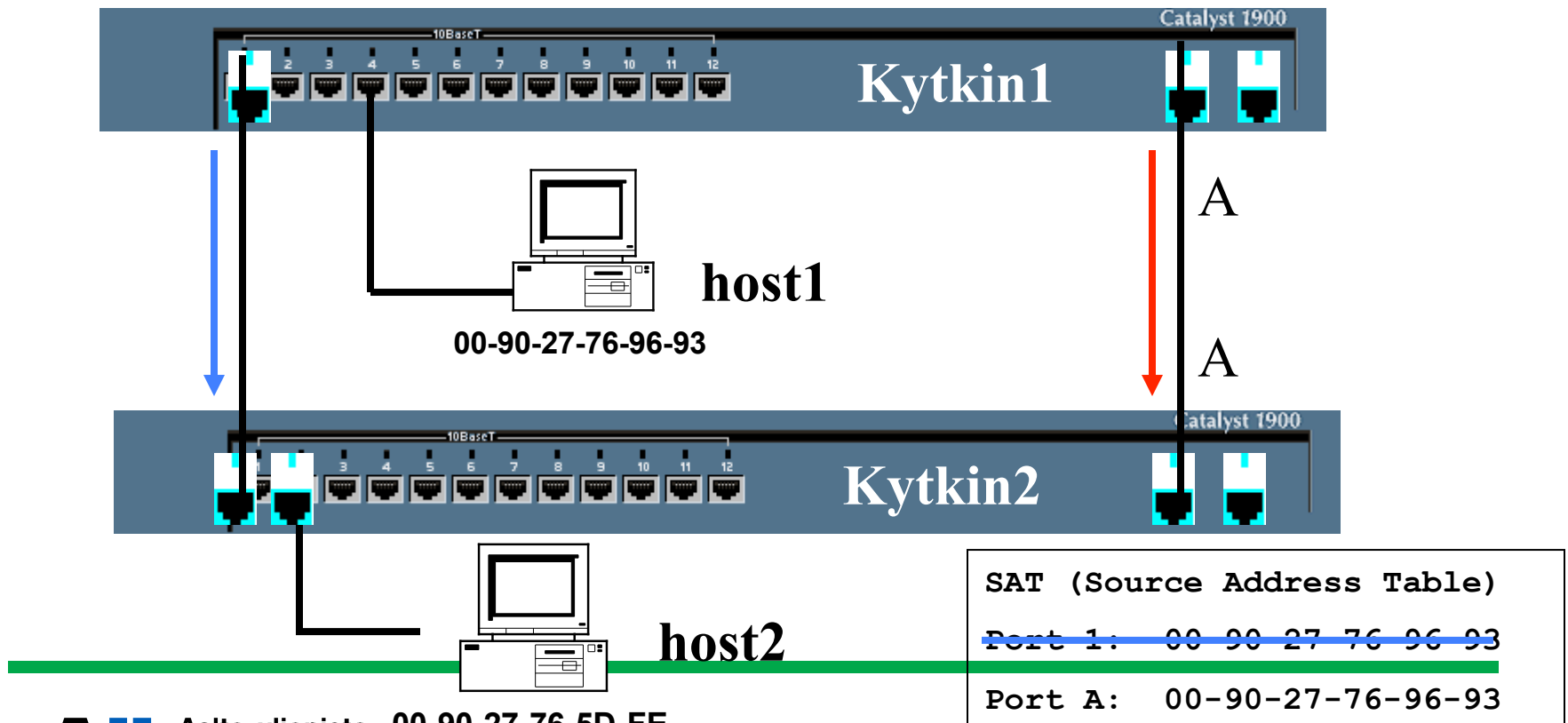


Tuntematon unicast MAC-osoite

Kytkin2 vastaanottaa kehyksen kahdesti, tallentaa toisen portin tauluunsa

SAT (Source Address Table)

Port 4: 00-90-27-76-96-93

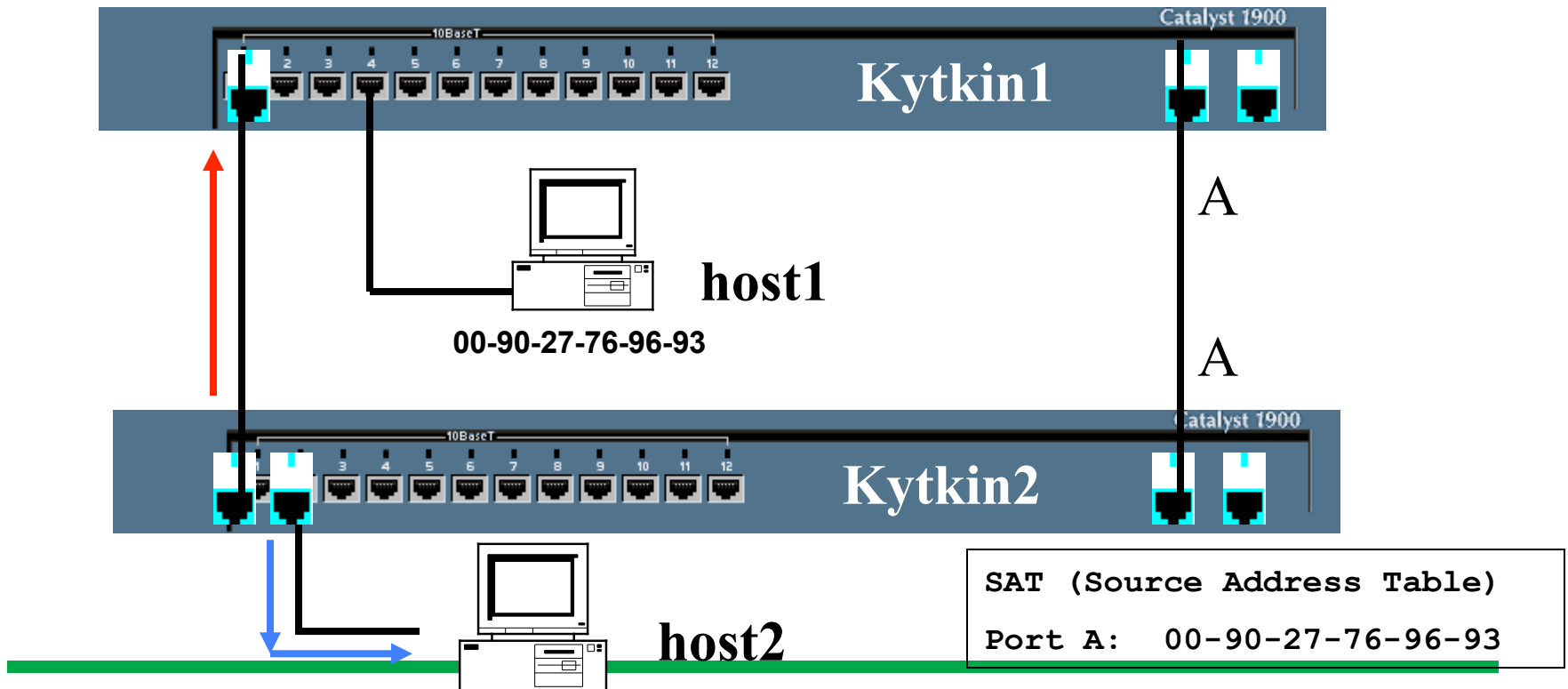


Tuntematon unicast MAC-osoite

Kytkin2 floodaa tuntemattoman kohdeosoitteen kehyksen kaikkiin paitsi sisääntuloporttiin.

SAT (Source Address Table)

Port 4: 00-90-27-76-96-93



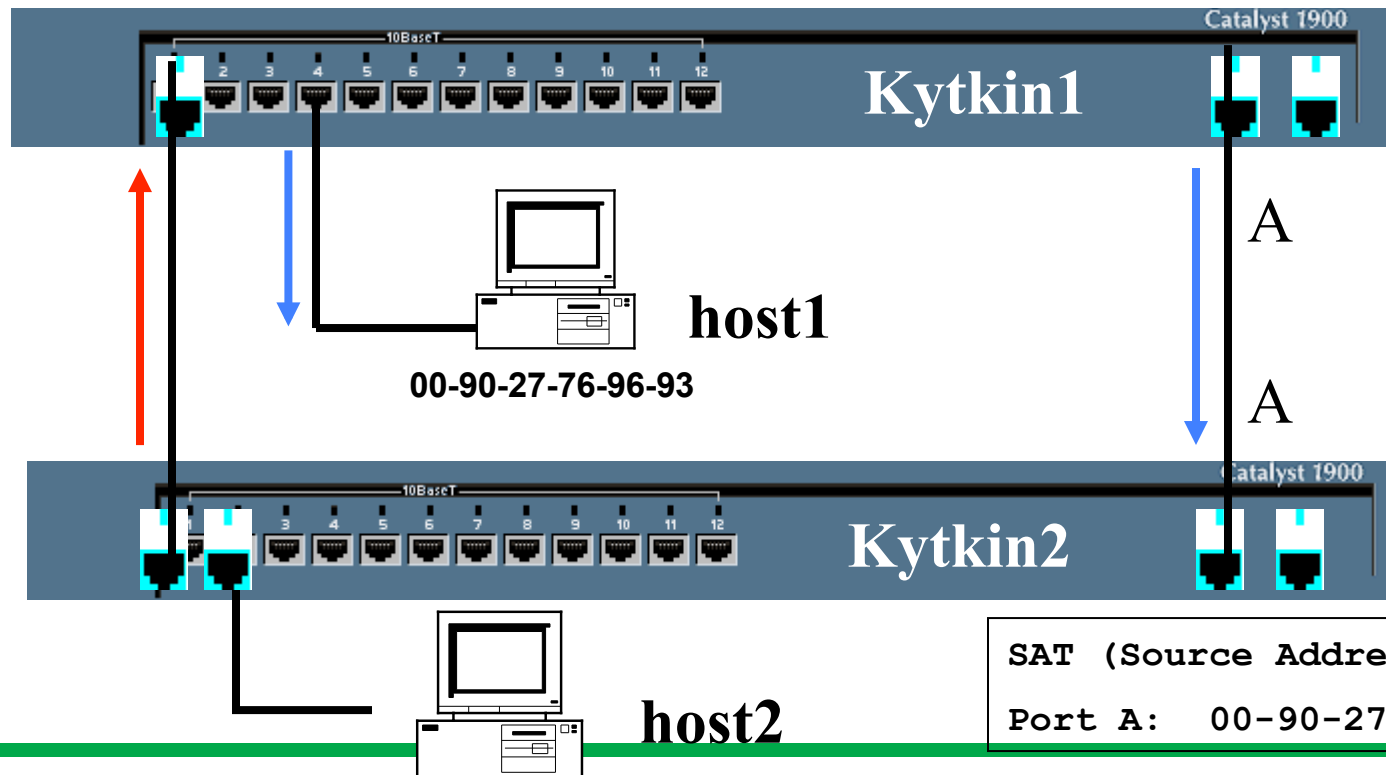
Tuntematon unicast MAC-osoite

Kytkin1 vastaanottaa kehyksen, päivittää kytkintaulunsa uudemmalla tiedolla ja floodaa taas kehyksen.

SAT (Source Address Table)

~~Port 4: 00-90-27-76-96-93~~

Port 1: 00-90-27-76-96-93



SAT (Source Address Table)

Port A: 00-90-27-76-96-93

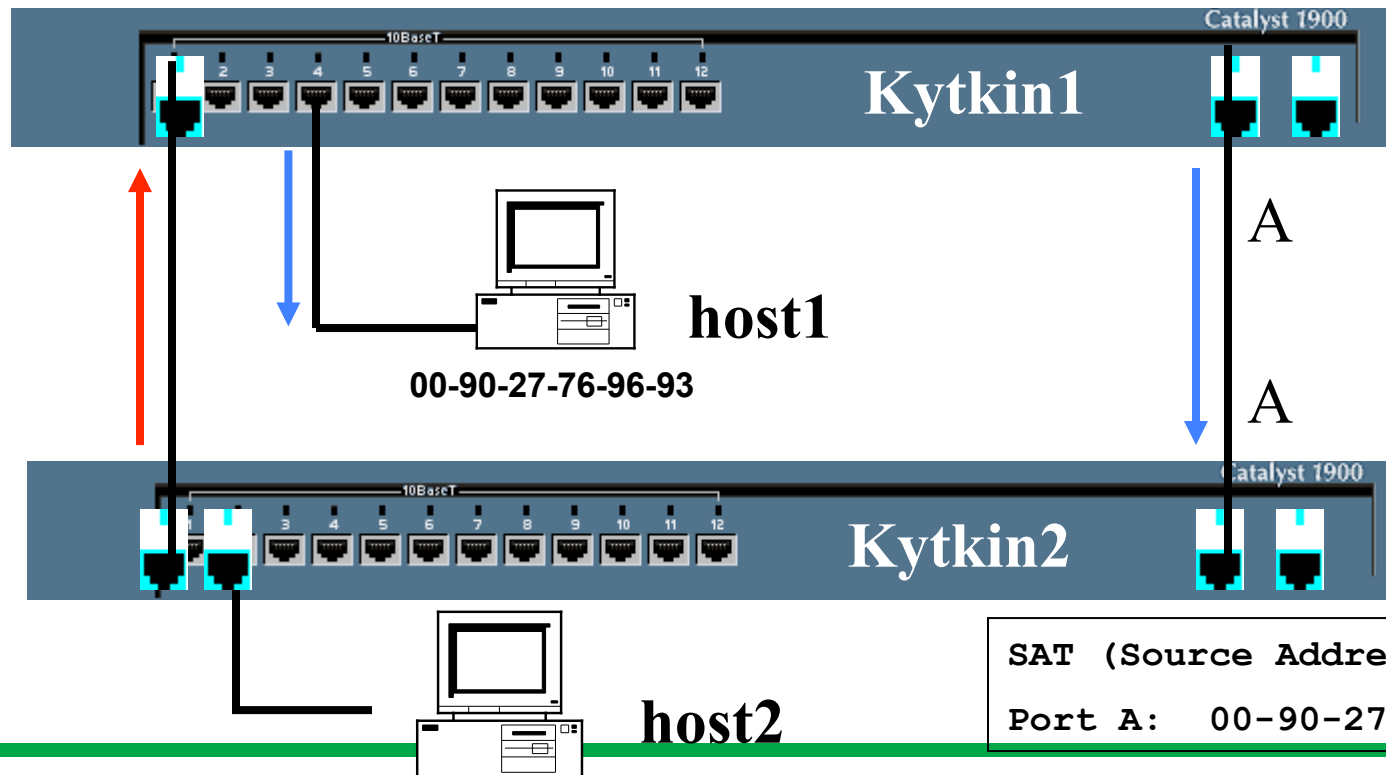
Tuntematon unicast MAC-osoite

Sykli jatkuu!

SAT (Source Address Table)

~~Port 4: 00-90-27-76-96-93~~

Port 1: 00-90-27-76-96-93



SAT (Source Address Table)

Port A: 00-90-27-76-96-93

Spanning Tree Protocol (STP)

- Kehitetty 80-luvun lopulla
 - Standardoitu IEEE-802.1D vuonna 1990
- STP estää silmukat blokkamalla osan porteista
- Kytkimet muokkaavat verkosta virityspuun (Spanning Tree)
 - Virityspuussa ei ole silmukoita
 - Kytkimien portit luokitellaan käytössä oleviin ja blokattaviin
- Hajautettu protokolla
 - Jokainen kytkin päättelee itse mitkä portit voi olla käytössä
 - Protokolla määrittelee viestityypin jonka avulla kytkimet vaihtavat tietoja (BPDU)

Virityspuu

- Virityspuu on puun kaltainen rakenne
 - Juuri (Root) → Juurikytkin
 - Oksat → muut kytkimet
 - Lehdet → lähiverkkosegmenttien päätelaitteet (kiinni kytkimissä)
- Puun ominaisuudet
 - Kaikki verkon elementit kytkettynä verkkoon
 - Ei silmukoita
 - Vain yksi polku lehdestä toiseen
- Puu rakennetaan määrittelemällä tietyt roolit
 - Kytkimille ja
 - Kytkinten porteille
 - Näiden perusteella valitaan blokattavat portit

Kytinten roolit

- Ensin määritellään **juurikytkin**
 - Vain yksi
 - Virityspuun juuri josta oksat lähtee
 - Ei vaadita mitään erityisominaisuuksia
- Juuri valitaan kytkimien ID:n perusteella
 - Jokaisella ID (prioriteetti plus MAC-osoite)
 - Pienin ID on juuri
- “Nimitetty” kytkin (designated switch)
 - Liikenne juuresta muihin linkkeihin näiden kautta
 - Vain yksi nimitetty kytkin per linkki

Porttien roolit

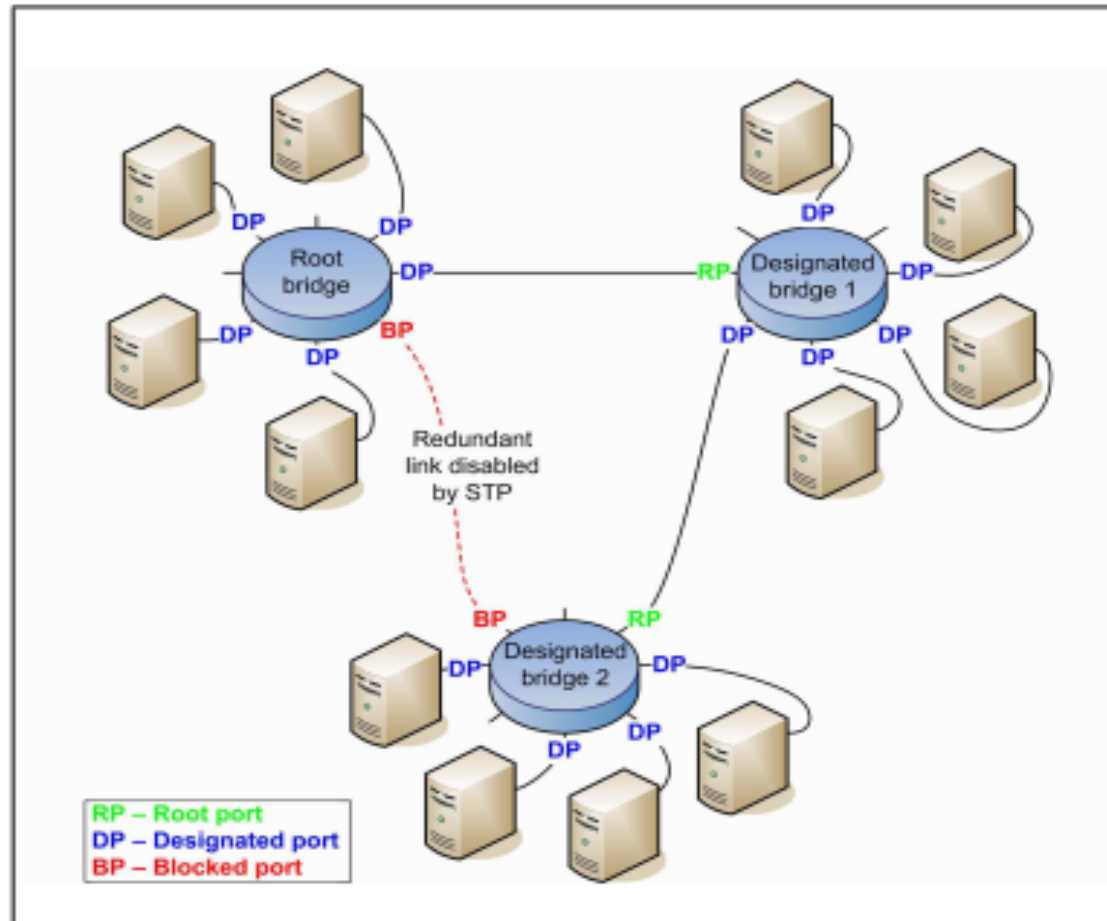
- Kolmenlaisia portteja
 - Juuriportti (Root port)
 - Portti jonka kautta kytkin välittää kehykset juurikytkimelle pienimmällä kustannuksella (path cost)
 - Path cost on määritelty standardissa
 - Nimitetty portti (Designated port)
 - Portti jonka kautta lähiverkkosegmentistä juureen pienimmällä kustannuksella
 - Blokattu portti
 - Ei käytetä datakehysten välittämiseen
 - Estää silmukat

Linkkikustannus

- Miten määritellään polun kustannus?
- Linkkityypeille (nopeus) oma kustannus
 - Oletusarvot IEEE:n standardista
 - Konfiguroitavissa

Linkin nopeus	Kustannus
10 Gbps	2
1 Gbps	4
100 Mbps	19
10 Mbps	100

STP: esimerkki lopputuloksesta



Virityspuun rakentaminen

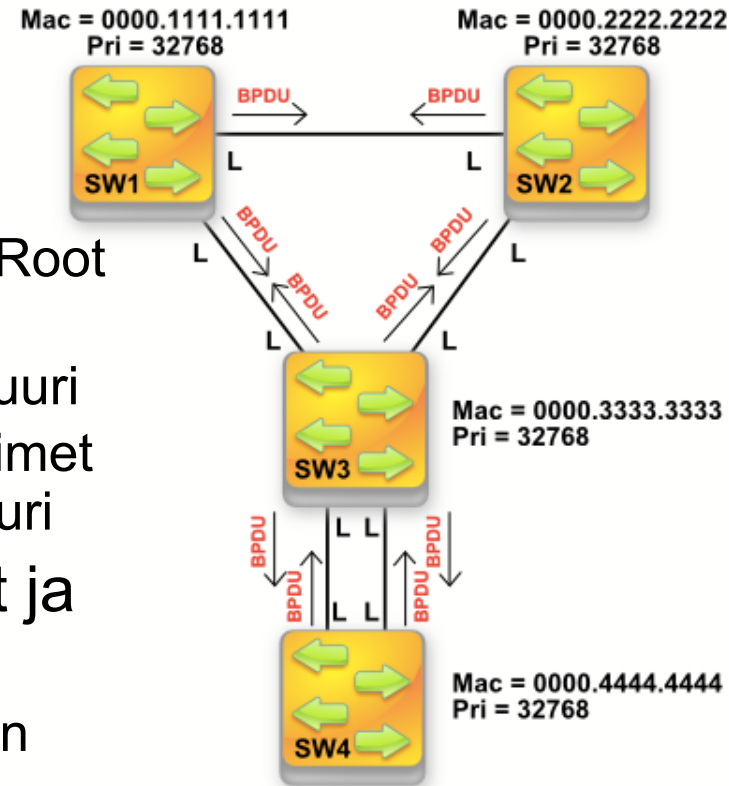
- Miten päästään äskeisen kuvan lopputulokseen?
 - Helppoa järkeillä kuvan perusteella
 - Mutta verkossa jokainen kytkin tietää vain naapurinsa, ei koko topologiaa!
- STP:ssa kytkimet lähettää toisilleen viestejä ja oppivat näin tarpeellisen tiedon
 - BPDU-viestit
 - Kuin reititysprotokolla, mutta eri tarkoitus (silmukoiden poisto)

BPDU

- Bridge Protocol Data Unit (BPDU) viestien avulla kytkimet oppivat ja vaihtavat tietoja
- Konfigurointi BPDU: lähetetään Hello-ajastimen mukaisesti
 - Yleensä 2s välein
- Topologian muutos (Topology Change, TCN) BPDU
 - Kytkin lähettää jos huomaa topologiamuutoksen
 - Asetetaan Topology Change (TC) lippu BPDU viestiin
 - Kun kytkin vastaanottaa BPDU:n jossa TC lippu → vaihtaa vanhenemisajan lyhyeksi
 - unohdetaan pikaisesti vanhat entryt

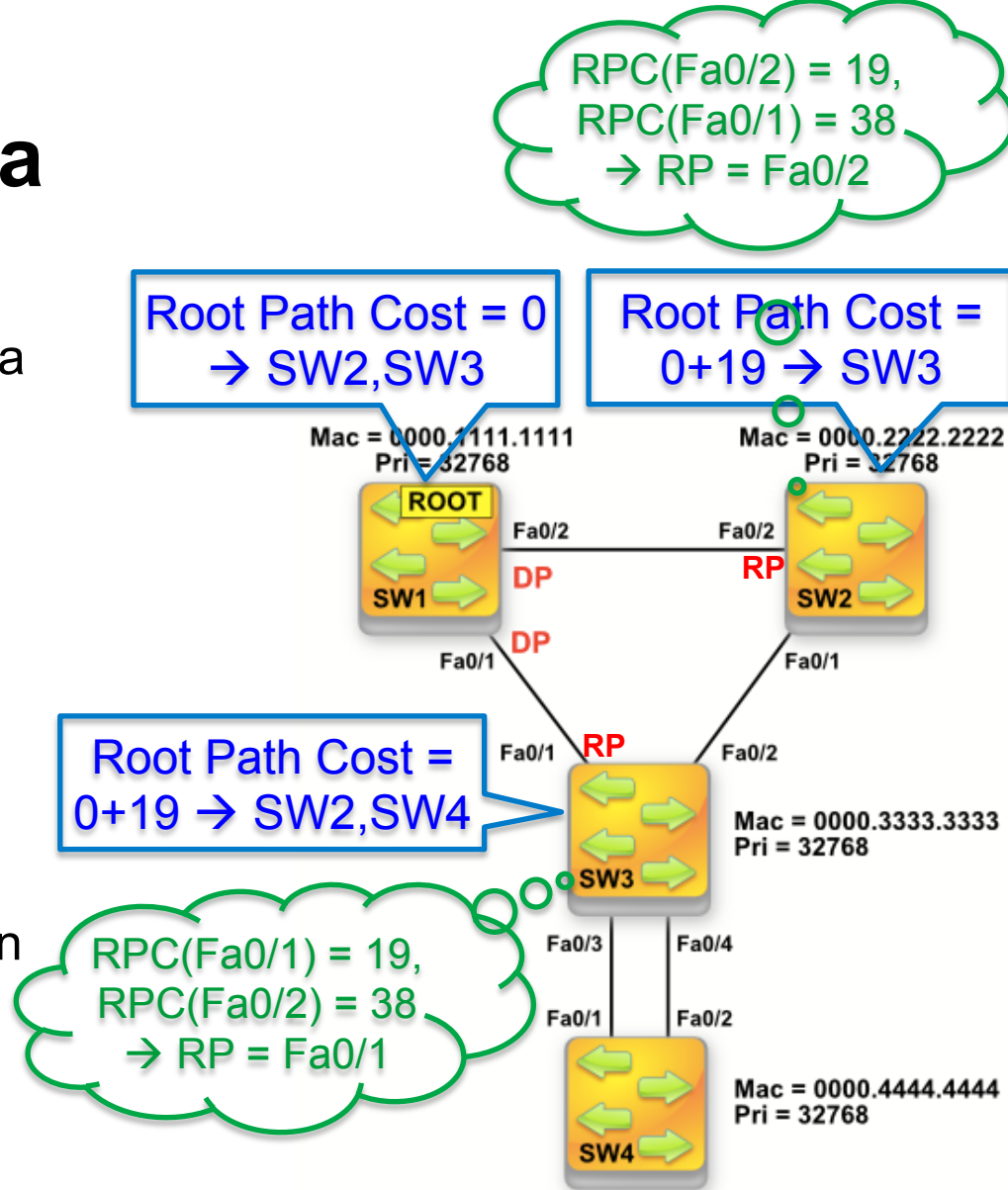
Virityspuun rakentaminen

- Ensin pitää sopia siitä mikä on *juurikytkin*
 - BPDU-viestissä Bridge ID (oma ID) ja Root ID (oletetun juuren ID)
 - Aluksi jokainen arvelee itse olevansa juuri
 - Vaihdettujen viestien avulla kaikki kytkimet lopulta oppivat sen jolla pienin ID → juuri
- Seuraavaksi määritellään juuriportit ja nimitetyt portit
 - Etsitään portteja joiden kautta päästään *minimikustannuksella juurikytkimeen*
 - Jäljelle jäävät portit blokataan



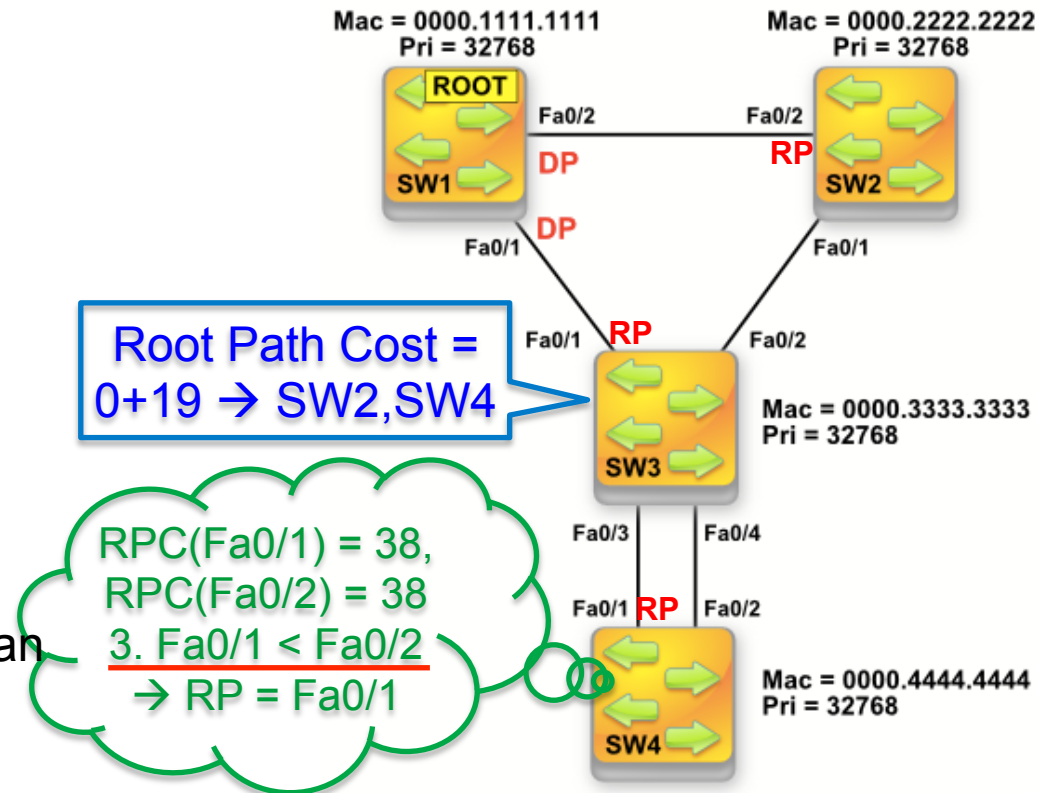
Juuriporttien valinta

- Kytkimet lähettää BPDU:a joissa kolme attribuuttia
 - Lähettäjän ID
 - Juurikytkimen ID
 - Kustannus juureen lähettäjältä
- Vastaanotetun BPDU:n juuripolun kustannukseen lisätään kyseisen linkin kustannus
- Lähetetään BPDU portista vain jos sieltä vastaanotetun BPDU:n RPC suurempi kuin oma RPC
- Valitaan juuriportiksi (RP) se jonka kautta pienin kustannus juureen



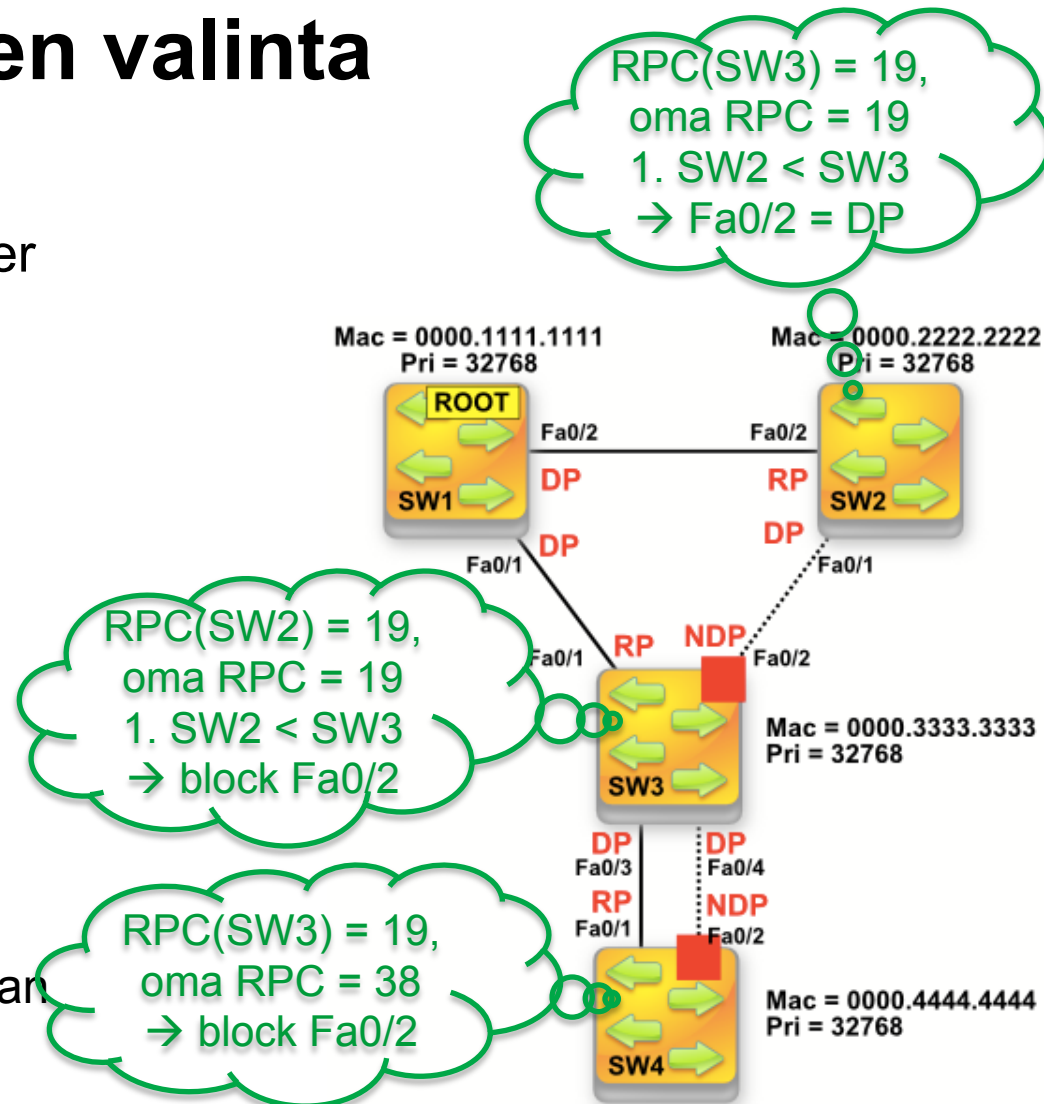
Juuriporttien valinta

- Joskus juuripolun kustannus sama
- Kolme sääntöä tiebreak tilanteisiin:
 1. valitaan pienin kytkin ID
 2. valitaan pienin lähettäjän portin prioriteetti
 - Tämä on myös BPDU attribuutti
 - Oletusarvo = 128, voidaan konffata
 3. valitaan pienin vastaanottajan portti ID



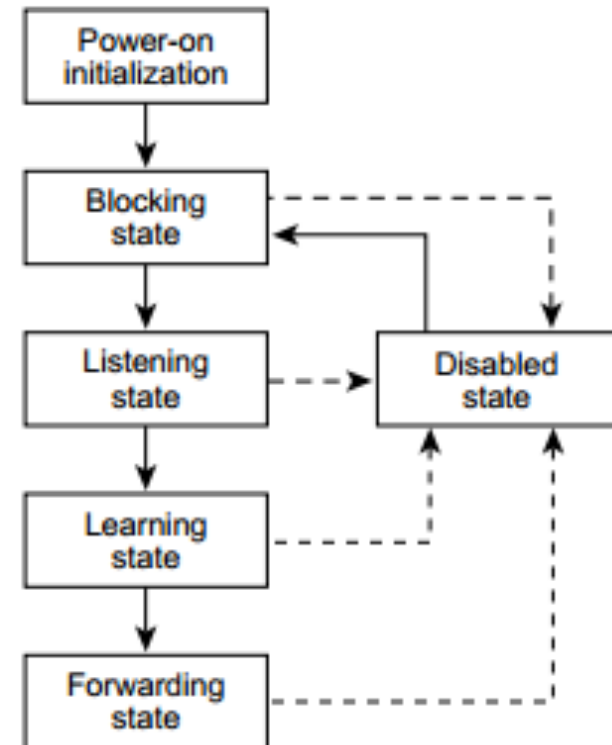
Nimitettyjen porttien valinta

- Tavoite: valitaan yksi portti per lähiverkkosegmentti
- Nimitetään portit (DP) jonka kautta kytkin mainostaa pienintä kustannusta juureen
 - Verrataan portista tulleen BPDU:n RPC:a omaan
- Samat tiebreak säännöt kuin juuriporttien valinnassa:
 1. valitaan pienin kytkin ID
 2. valitaan pienin lähettäjän portin prioriteetti
 3. valitaan pienin vastaanottajan portti ID



Porttien tilat

- *Ei käytössä*: ei vastaanota/lähetä mitään
- *Blocking*: käytössä, vastaanottaa vain BPDU viestejä
- *Listening*: ei välitä datakehysiksiä, mutta kuuntelee ja lähettää BPDU viestejä
 - Virityspuun rakentaminen käynnissä
- *Learning*: valmistautuu välittämään → rakentaa välitystaulua
 - Tiedetään jo STP tila (RP tai DP)
 - Pyritään ehkäisemään liiallista floodausta
- *Forwarding*: vastaanottaa ja lähettää datakehysiksiä
- Kuuntelu- ja oppimistilojen oletusarvoiset kestot 15s
 - Kestää 30s ennenkuin uusi topologia opittu



Juurikytkimen kuolema

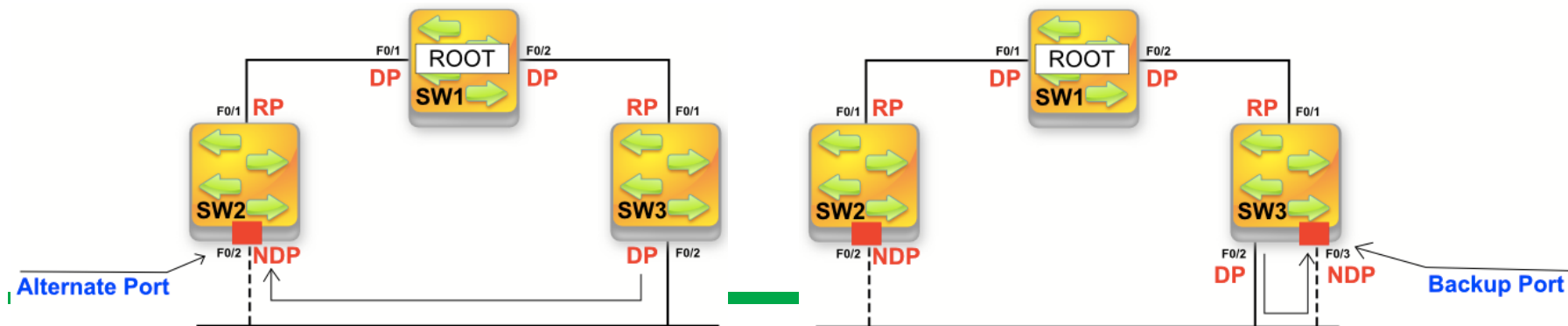
- STP:ssa nimitetyt kytkimet eivät luo uusia BPDU-viestejä
 - Paitsi jos huomataan topologiamuutos
 - Juurikytkin vain tekee niin
 - Vastaanotetaan BPDU juuriportista ja välitetään nimitetyistä porteista
- Jos edellisestä BPDU:sta kulunut $>$ “max age time” (oletus 20s) $\rightarrow$ juurikytkin julistetaan kuolleeksi
- Juuren menehdyttyä aloitetaan virityspuun rakentaminen alusta
 - Kaikki kytkimet olettavat itsensä juureksi

Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)

- STP estää syklit kytketyssä verkossa
- Mutta STP on liian hidas
 - Häiriön sattuessa voi kestää 30-50s toipua
- Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) avuksi
 - Nopeampi konvergoituminen topologia muutoksen jälkeen
 - Peruskonsepti sama kuin STP:ssa
 - Standardoitu aluksi IEEE-802.1W lisäosana vuonna 2001
 - IEEE-802.1D (IEEE MAC Bridges standard) revisio vuonna 2004
 - Sisältää 802.1W lisäosan
 - Alkup. STP jätetty kokonaan pois

RSTP: Portien tilat ja roolit

- Vain kolme tilaa porteilla
 - *Forwarding* ja *Learning* kuin ennenkin
 - *Discarding*: ei välitä dataa eikä opi MAC-osoitteita
 - Yhdistää tilat “ei käytössä”, “blokattu”, “kuuntelee”
- Porttien rooleissa myös muutoksia
 - Blokattu → *alternate* tai *backup*, auttavat tietyissä vikatilanteissa
 - Alternate: vaihtoehtoinen polku juurikytkimeen (eri kuin juuriportti)
 - Backup: Redundantti polku verkkosegmenttiin johon jo nimitetty portti
 - Juuri- ja nimitetyt portit ennallaan



RSTP vs. STP: toiminta

- Suurin ero STP:aan on BPDU viestien lähetyksessä
 - RSTP:ssa jokainen kytkin generoi ja lähettää Hello BPDU-viestejä autonomisesti (ei vain välitä juuren lähettämiä)
 - Huomataan linkkien muutokset nopeammin → reagoidaan heti
- Kytkimet synkronoi naapurien kanssa
 - “Proposal” ja “agreement” viestien vaihtoa porttiroolien määrittämiseksi
- Protokollan yksityiskohdat menee yli tämän kurssin aihealueen

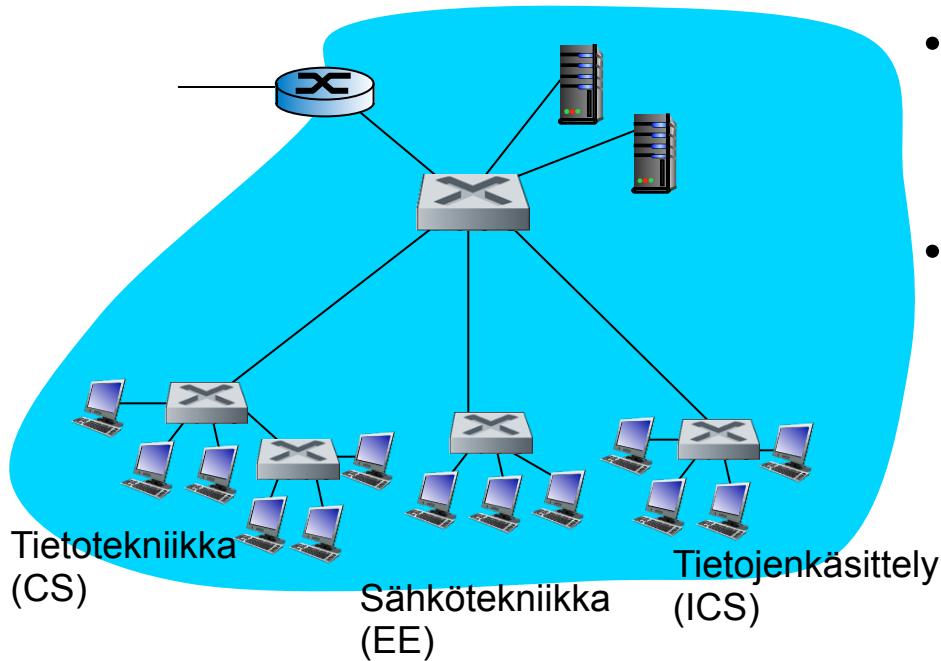
Muita protokollia

- Shortest Path Bridging
 - IEEE 802.1aq, standardoitu vuonna 2012
 - Tulee korvaamaan STP:n ja sen kehittyneemmät versiot (RSTP, MSTP)
 - Mahdollistaa lyhyimmän polun välittämisen Ethernetissä
 - Shortest Path Trees
 - STP ei aina johda lyhimpään polkuun
 - Sisältää mekanismeja silmukoiden välttämiseen ja poistamiseen
 - TRILL: Transparent Interconnection of Lots of Links
 - IETF standardi (RFC 6325) vuodelta 2011
 - Kapseloi Ethernet kehyksen TRILL-otsakkeen sisään
 - Sisältää hop countin
 - Käyttää IS-IS reititysprotokollaa
 - Tavallaan L2 ja L3 välissä
-

Sisältö

- Bridging
 - Kytkin ja keskitin
 - Linkkikerroksen verkot
- Spanning Tree Protocol (STP)
- • Virtual LAN (VLAN)
- MPLS

VLAN: miksi tarvitaan



- CS käyttäjä siirtyy EE laitokselle mutta tahtoo ottaa yhteyden CS kytkimeen?
- yksi yleislähetysalue (broadcast domain):
 - kaikki linkkikerroksen yleislähetysliikenne (ARP, DHCP, tuntematon kohde MAC-osoite) lähetetään koko lähiverkkoon

VLAN: miksi tarvitaan

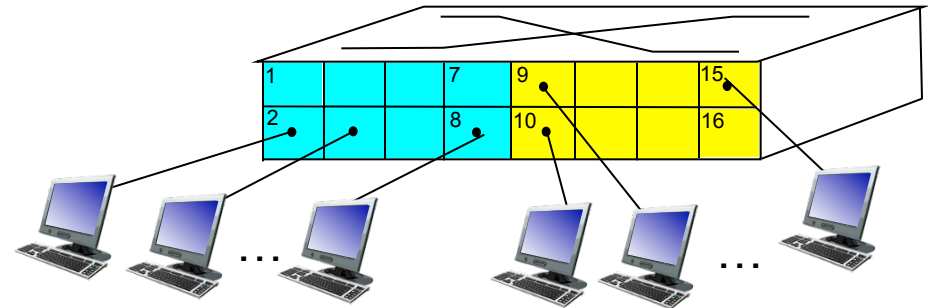
- Yleisliikenne kulkee koko verkkoon
 - Tehokkuusnäkökulmasta huono juttu
 - Tietoturva/yksityisyyšnäkökulmasta samoin
- Verkon osat voidaan “eristää” reitittimen avulla
 - Tehoton kytkinten käyttö
 - Jokainen laitos (esimerkissä) tarvitsee oman kytkimen
 - Kytkinportit ei välttämättä kaikki käytössä
 - Verkonhallinta hankalaa
 - Käyttäjän siirtyessä eri taloon joudutaan kaapelointia muuttamaan
- VLAN mahdollistaa eristämisen ilman erillistä reititintä

VLAN

Virtual Local Area Network

VLAN:a tukevat kytkimet voidaan konffata niin että yksi *fyysinen* lähiverkko jaetaan useaan *virtuaaliseen* lähiverkkoon.

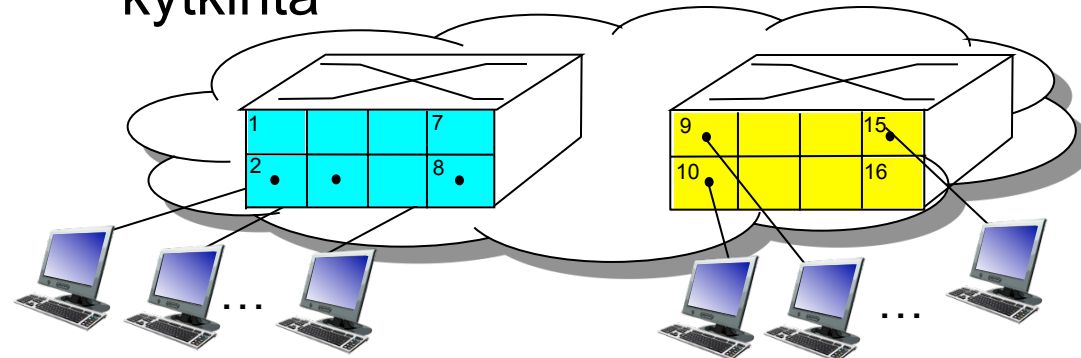
porttiperusteinen VLAN: kytkinportit ryhmitelty (kytkimen hallintaohjelmiston avulla) niin että *yksi* fyysinen kytkin



Sähkötekniikka
(VLAN portit 1-8)

Tietotekniikka
(VLAN portit 9-15)

... toimii aivan kuin *monta* virtuaalista kytkintä

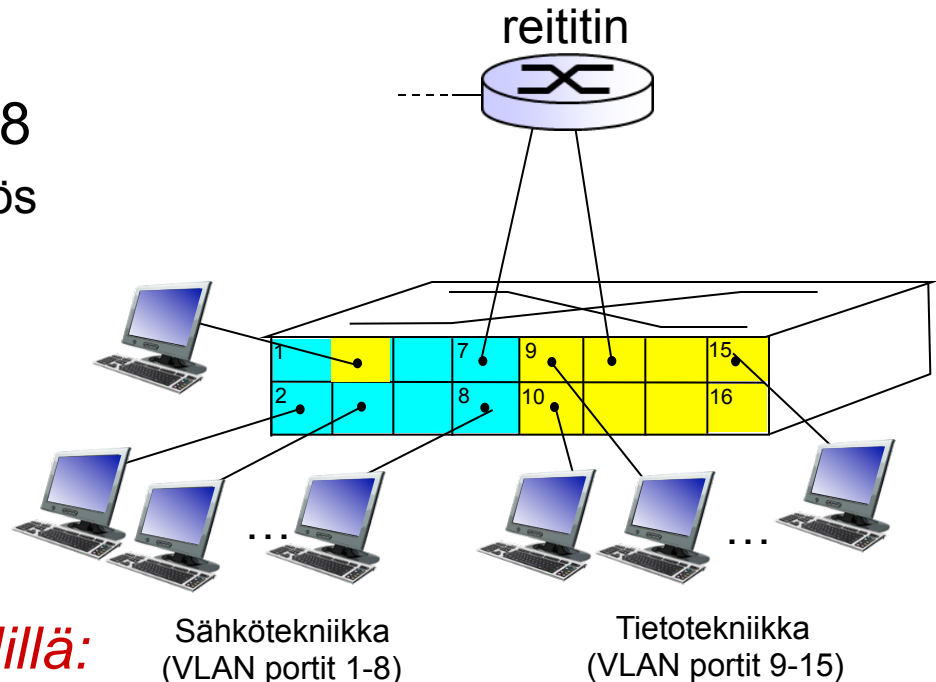


Sähkötekniikka
(VLAN portit 1-8)

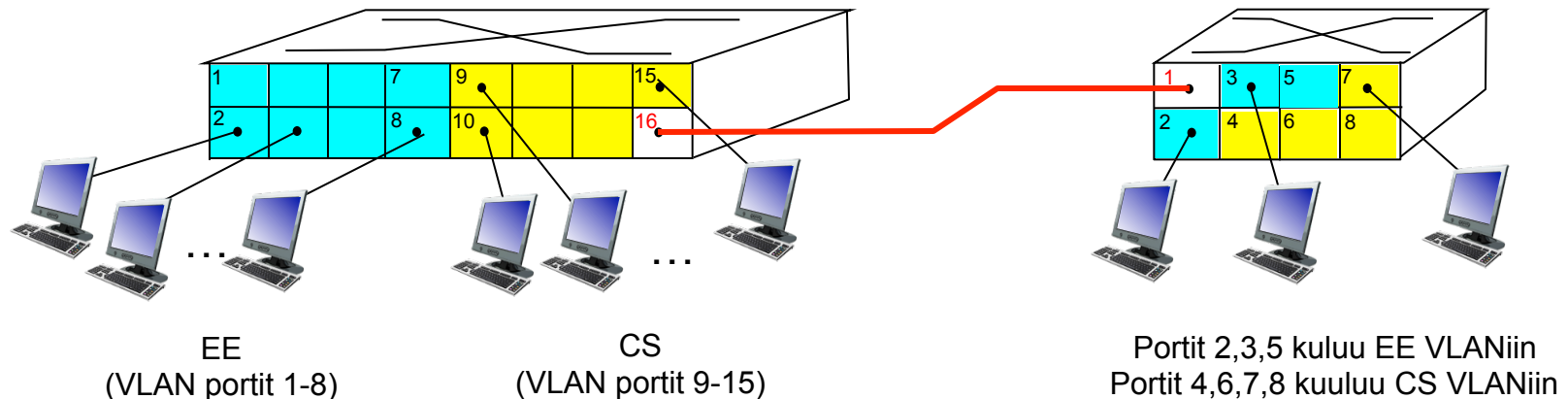
Tietotekniikka
(VLAN portit 9-16)

Porttiperusteinen VLAN

- *liikenteen eristys*: kehykset porteista 1-8 vain portteihin 1-8
 - mahdollista määritellä VLAN myös esim. päätelaitteiden MAC-osoitteiden perusteella
- *dynaaminen jäsenyys*: portti voidaan koska tahansa määritellä kuuluvaksi mihin tahansa VLAN:iin
- *kehysten välitys VLAN:ien välillä*: reitityksen avulla (just as with separate switches)
 - kuten erillisten kytkinten tapauksessa
 - käytännössä reititin integroitu samaan laitteeseen

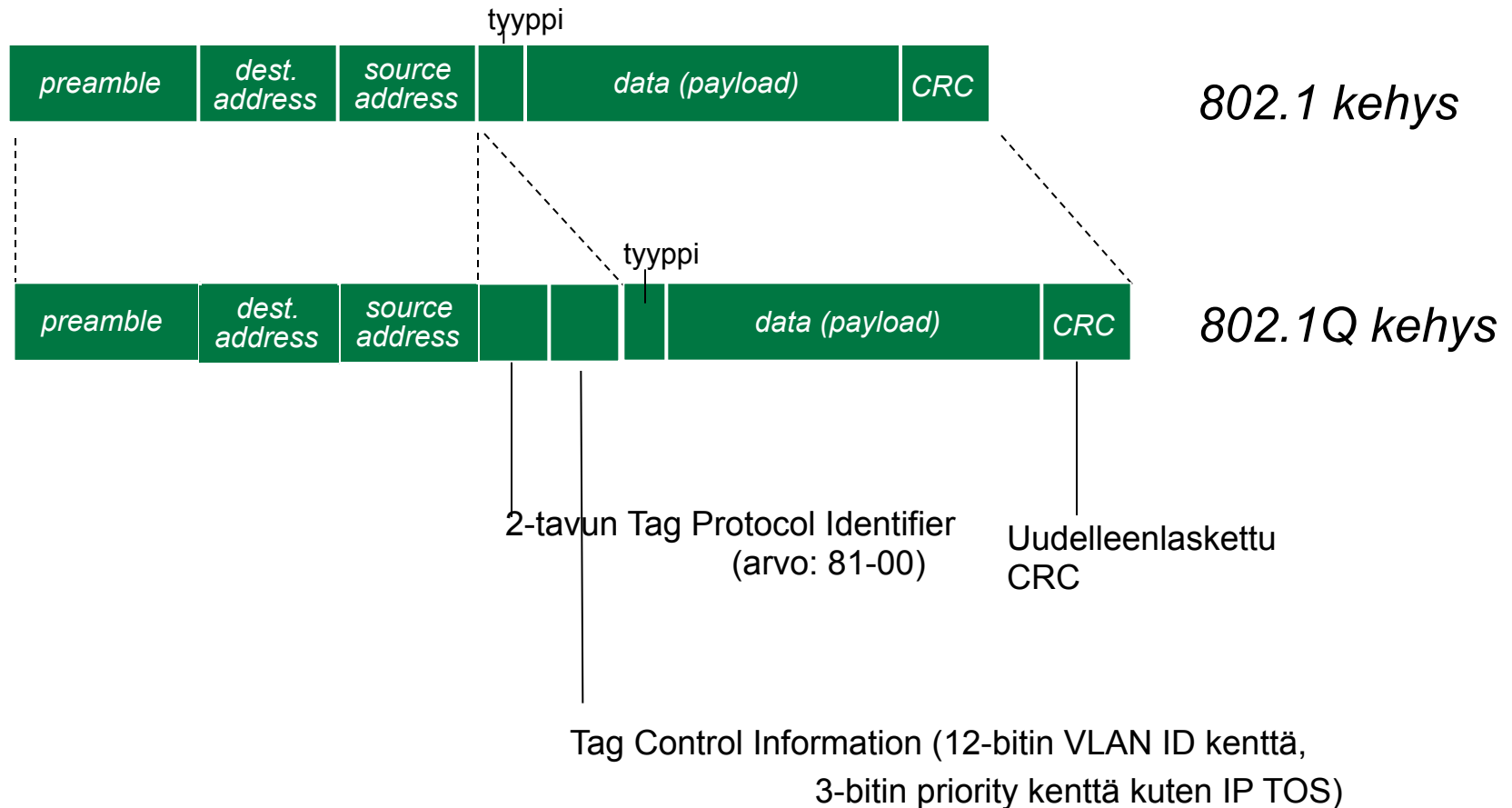


VLAN:t usean kytkimen yli



- **trunk portti:** kuljettaa usean VLAN:in kehykset kytkinten välillä
 - käytetään VLAN tagejä kertomaan mihin VLAN:iin kyseinen kehys kuuluu
 - 802.1q protokolla lisää/poistaa tarpeelliset otsakkeet kehyksistä jotka välitetään trunk-portin kautta
 - Näin vältetään tarve yhdistää portti per kytkin per VLAN

802.1Q VLAN kehysformaatti

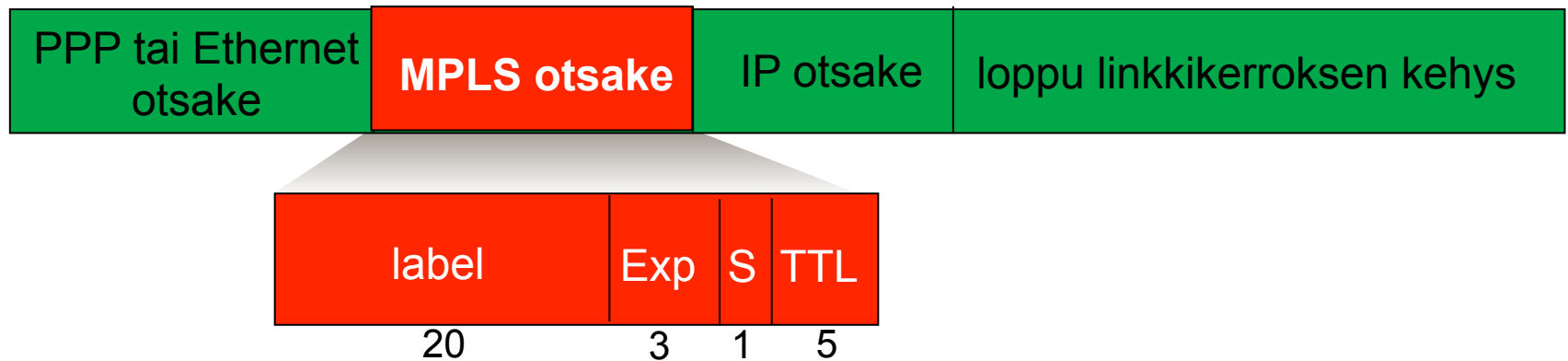


Sisältö

- Bridging
 - Kytkin ja keskitin
 - Linkkikerroksen verkot
- Spanning Tree Protocol (STP)
- Virtual LAN (VLAN)
- • MPLS

Multiprotocol label switching (MPLS)

- Sanotaan 2.5 kerroksen protokollaksi
 - Toimii linkki- ja IP-kerrosten välissä
- IP:n näkökulmasta linkki onkin oikeasti kokonainen MPLS-polku
 - Samoin kuin kytketyt verkot
 - IP:lle näkymätöntä



Multiprotocol label switching (MPLS)

- Alkuperäinen tavoite: nopea IP pakettien välitys vakio kokoisten etikettien (label) avulla (IP-osoitteiden sijasta)
 - Nopea lookup vakio kokoisilla ID:lla (prefix-haun sijaan)
 - Virtuaalipiirien (Virtual Circuit (VC)) tyylistä
 - mutta IP-yhteensopivasti (käytetään edelleen IP osoitteita)
- Nykyään käytetään lähinnä muista syistä
 - Esim. liikenteen dynaaminen ohjaus (traffic engineering)
 - Myös VPN

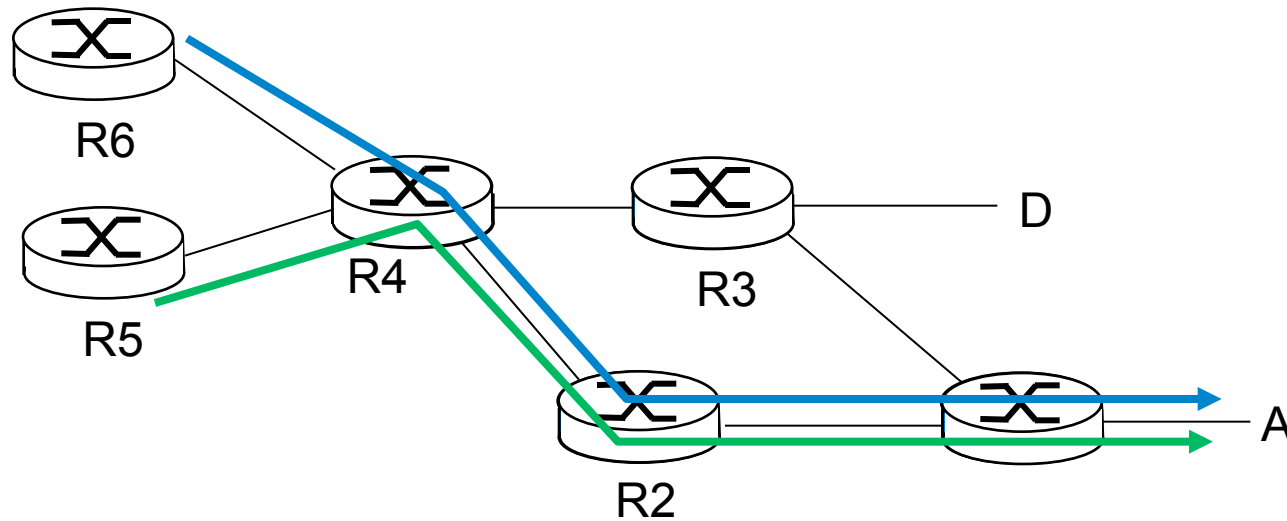
MPLS ja reitittimet

- MPLS:a tukeva reititin on “label-switched” reititin
- Välittää paketit ulosmenoportteihin vain etiketin arvon perusteella
 - Etiketti vaihdetaan uuteen joka reitittimessä
 - Etiketin arvo on linkkispesifinen
 - Ei katso IP osoitteita ollenkaan
- MPLS välitystaulu eri kuin IP reititystaulu

MPLS ja reitittimet

- *Joustavuus*: MPLS forwardointi voi poiketa IP forwardoinnista
 - voidaan reitittää paketit joilla samat IP-osoitteet (lähde, kohde) eri polkuja pitkin samaan päätepisteeseen
 - liikenteen ohjaus eli *traffic engineering*
 - uudelleen reititys linkin vioittuessa: etukäteen lasketut varareitit
 - Erityisen hyödyllistä interaktiivisille sovelluksille, esim. VoIP

MPLS vs. IP polut



- ❖ *IP reititys: polku määräytyy ainoastaan kohdeosoitteen perusteella*



A”

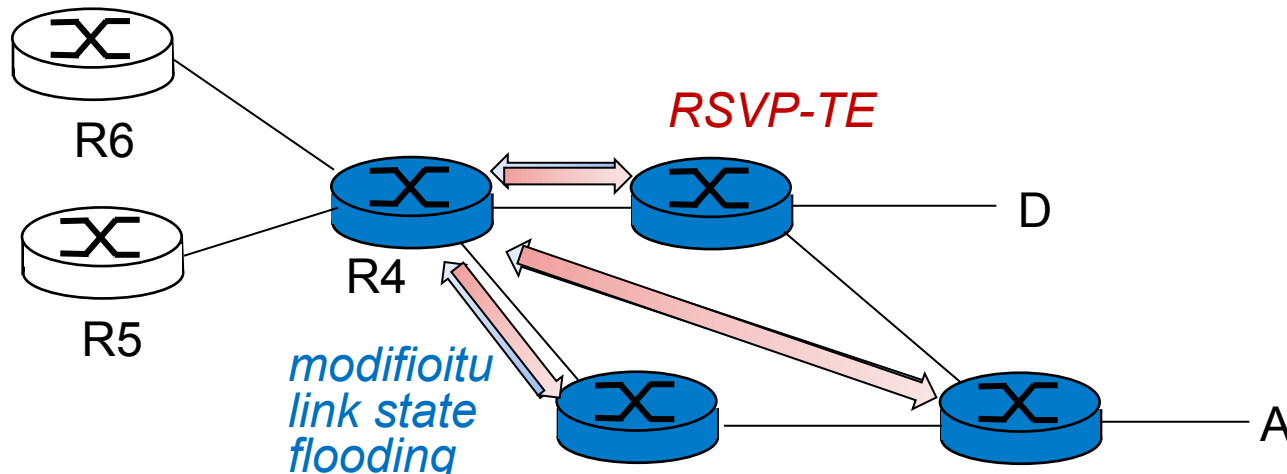


Diagram illustrating two types of routers:

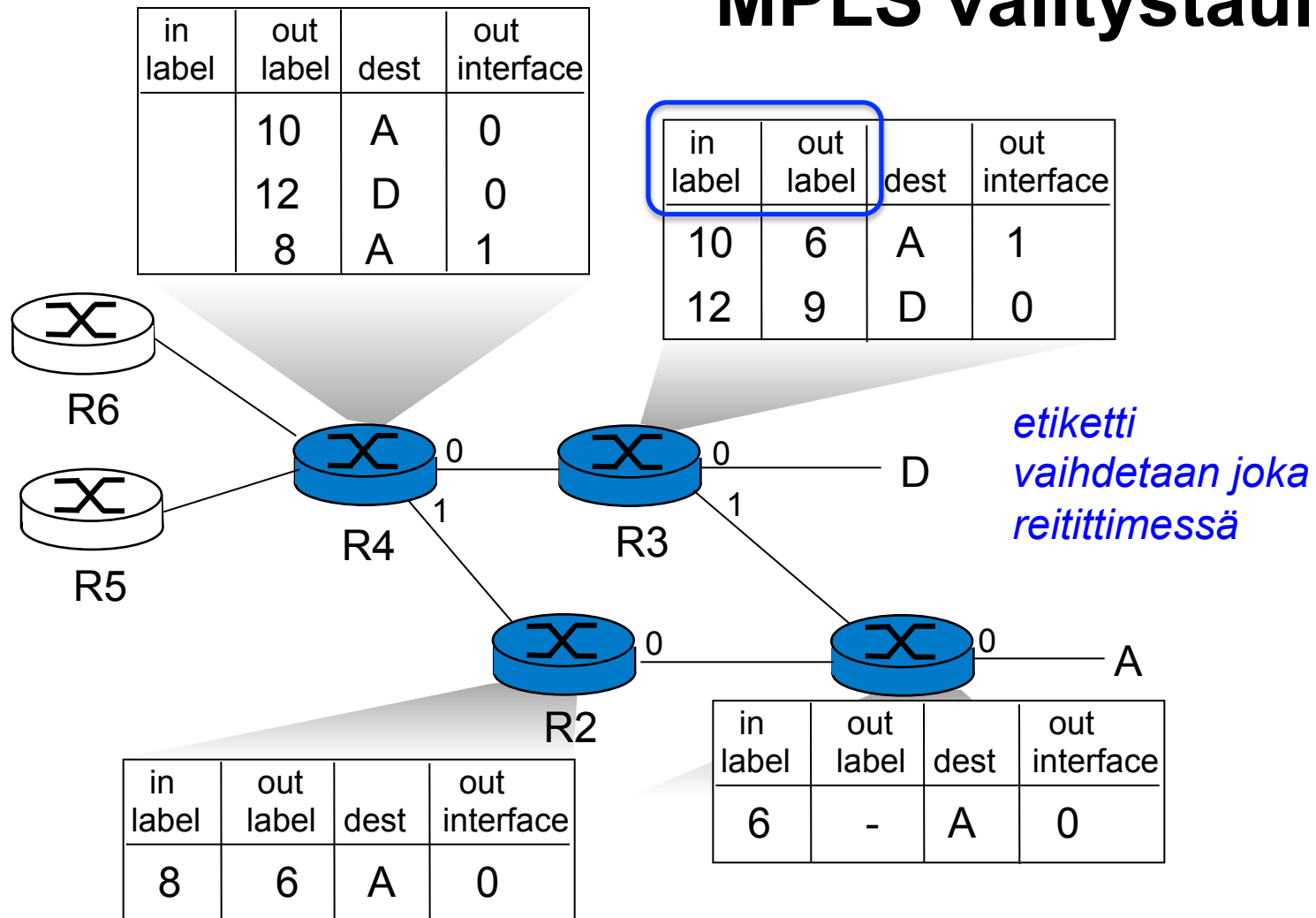
- pelkkä IP-reititin** (Plain IP router): Represented by a white cylinder with a black 'X' on top.
- MPLS- ja IP-reititin** (MPLS and IP router): Represented by a blue cylinder with a black 'X' on top.

MPLS signaointi

- OSPF ja IS-IS reititysprotokollista on MPLS:a tukevat versiot
 - välittävät MPLS:n tarvitsemaa tietoa
 - esim. linkin kaista, jo varattu kaista
- *ensimmäinen MPLS-reititin käyttää RSVP-TE signaointiprotokollaa alustaakseen MPLS polun*



MPLS välitystaulut



Yhteenveto

- Bridging on linkkikerroksen lähiverkkosegmenttien verkottamista
 - Pääasiassa käytetään kytkimiä ja keskittimiä
- Kytketyissä verkoissa voi esiintyä välityssilmukoita
 - Kehykset kiertävät loputtomasti verkossa
 - Tarvitaan Spanning Tree Protocol (STP) tms.
 - Muodostaa silmukattoman topologian
 - Uudempia korvaavia protokollia jo olemassa
- Virtual LAN (VLAN)
 - Verkon osittaminen yhdellä laitteella
 - Helpottaa verkonhallintaa ja tehostaa laitteiden käyttöä
- MPLS mahdollistaa joustavan pakettien reitityksen
 - Liikenteenohjaus ja varareitit

Seuraavalla luennolla

- Langattoman tiedonsiirron perusteita
- Langattomat lähiverkot
 - IEEE 802.11 eli Wi-Fi
- Mobiiliverkot
 - Matkapuhelinverkkojen perusteita

Lyhenteitä ja terminologiaa

- Tulee tänne myöhemmin...