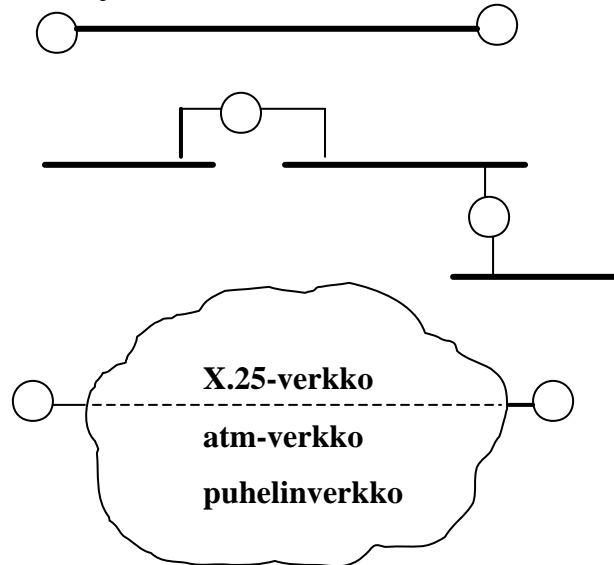


Erilaisia IP-reitittimiä
yhdistäviä linkkejä



Paljon erilaisia verkkoja!

- LAN
 - Ethernet
 - Vuororengas (802.4, Token Ring)
 - langaton lähiverkko (wireless LAN, 802.11)
 - atm
- MAN
 - FDDI, DQDB
- WAN
 - puhelinverkko, X.25, kehysvälitys (frame relay)
 - atm



Lähiverkkostandardi IEEE 802:

• LAN- ja MAN-verkoille

- 802.1 Johdanto, rajapintaprimitiivit
- 802.2 LLC (Logical Link Control)
- 802.3 CSMA/CD (kuulosteluväylä)
- 802.4 Token bus (vuoroväylä)
- 802.5 Token ring (vuororengas)
- 802.6 DQDB (Distributed Queue Dual Bus)
- 802.11 langaton LAN

22.1.2001

5

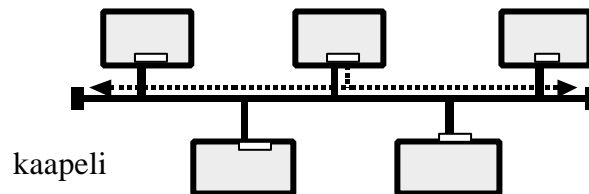
Ethernet-lähiverkko

• Yleisin lähiverkkoteknologia

- **CSMA/CD (kuulosteluväylä)**
 - kuunnellaan, ja jos vapaa, lähetetään
 - jos syntyy törmäys, odotetaan satunnainen aika
 - binary exponential backoff
- **ei kuittauksia, ei prioriteettejä**
- **paljon erilaisia kokoonpanoja**
 - 10BASE5, 10BASE2, 10BASE-T, 10BROAD36, 10BASE-F
 - 100BASE-T
 - 1000BASE-LX, 1000BASE-SX (kuitu)

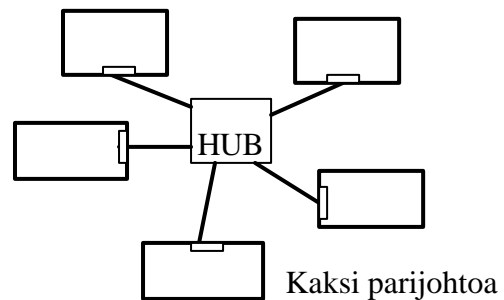
Eetteriverkon rakenne

☉ väylä



◆ tähti

- hub toimii toistimen tavoin



Vuoroväylä (802.4)

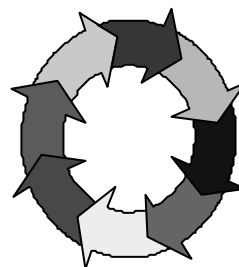
☉ Kuulosteluväylän ongelmia:

- rajoittamaton siirtoviive
- ei prioriteetteja
 - ei sovellu reaaliaikaohjaukseen

☉ asemat renkaaksi

- taattavissa oleva yläraja viiveelle
- ongelmana renkaan katkeaminen
- soveltuu teollisuushallintaan

☉ autotehtaat, teollisuusautomatia



22.1.2001

8

- tehdään looginen rengas fyysisellä väylällä olevista asemista
 - looginen järjestys <>fyysinen järjestys
- asemat lähettävät vuorotellen loogisen järjestyksen mukaan
 - lähetysvuoro (token) siirtyy asemalta toiselle
- renkaan ylläpito
 - asemien poistaminen renkaasta / lisääminen renkaaseen
 - vuoromerkin häviäminen, monistuminen
 - => suhteellisen monimutkainen protokolla
- => jäänyt pois käytöstä

Vuororengas (802.5) (ss. 292-301)

- rengas on ketju kaksipisteyhteyksiä
 - ei siis yleislähetystä
 - tekniikka hallussa
 - digitaalitekniikkaa (melkein kokonaan)
 - kierretty pari
 - koaksiaalikaapeli
 - valokuitu
 - IBM:n valinta
 - yhä melko laajassa käytössä

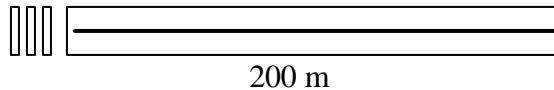
22.1.2001

10

Bitin pituus

- siirtonopeus renkaassa **R Mbps**
=> bitti lähetetään joka $1/R$ millisekunti
- siirtoviive kaapelissa $200\,000\text{ km/s} = 200\text{ m/ms}$
- kukin bitti vie tällöin $200/R$ metriä
- Jos $R = 1\text{ Mbps}$ ja renkaan koko 1000 m , niin renkaaseen mahtuu vain 5 bittiä (a' 200 metriä)

22.1.2001



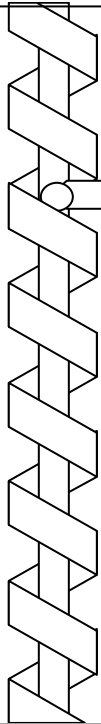
11

Lähetys vuororenkaassa

- renkaassa kiertää vuoromerkki
 - erityinen bittikuvio
- vuoromerkkin tulee mahtua renkaaseen
 - kunkin aseman aiheuttama viive (1 bitti)
 - öisin keinotekoinen viive
 - siirtoviive
- kuuntelu moodi
 - kopioi bittejä sisääntulosta ulosmenoon

22.1.2001

12



- lähetysmoodi

- vain jos on vuoromerkki
- omaa dataa siirretään ulosmenoon

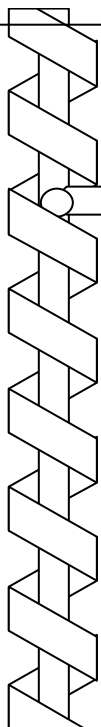
- lähetetyt bitit kiertävät koko renkaan ja lähettäjä poistaa ne

- voi tutkia, onko kehyksissä virheitä

- lopetettuaan lähettäjä lähettää vuoromerkin renkaaseen

22.1.2001 – rengas ei rajoita kehyksen kokoa

13



- jos kevyt kuorma

- vuoromerkki kiertelee renkaassa
 - joskus joku lähettää

- jos raskas kuorma

- kaikilla asemilla jonoa
 - kaikki lähettävät maksimimäärän ja siirtävät vuoromerkin seuraavalle

- **renkaan suoritusteho lähes 100%**

22.1.2001

14



Kuittaukset, prioriteetti

- kehyksessä 1 bitti kuittausta varten
 - aluksi 0
 - vastaanottaja muuttaa 1:ksi

- entä jos useita vastaanottajia?
 - monimutkaisempi kuittaus
 - ei lainkaan kuittausta
- sanomat voidaan priorisoida
 - monitasoisia prioriteettejä, nälkiintyminen mahdollista

22.1.2001

15



802.5-renkaan rakenne

- kierretty pari
- 1, 4 tai 16 Mbps
- differential Manchester -koodaus
 - kehyksen alussa ja lopussa koodausta, joka ei ole normaalia dataa (high-high tai low-low)
 - aina siirtymä keskellä
 - tahdistusta varten
 - 0 alussa siirtymä, 1 alussa ei siirtymää

22.1.2001

16



Renkaan ylläpito

- **ongelma: rengas katkeaa!**
 - johtokeskus (wire center)
 - jokainen asema yhdistetty johtokeskukseen kahdella kierretyllä parilla
 - releen virroitus asemalta
 - virta katkeaa => rele sulkeutuu
 - asema siirtyy ohitustilaan
 - asema voidaan myös ohjelmallisesti irroittaa renkaasta
 - esim. testausta varten

22.1.2001

17



MAC-protokolla ja -kehys

- **token holding -time**
 - 10 ms
- **access control -kenttä (1 tavu)**
 - vuoromerkki (3 bittiä)
 - monitor-bitti
 - prioriteettibitit
 - varausbitit
- **frame status -kenttä (1 tavu)**
 - automaattinen kuittaus:
 - A = nähnyt, C = kopioinut

22.1.2001

18

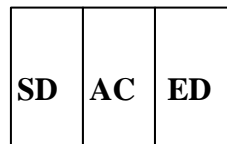
• loppumerkissä

- E-bitti
 - asetetaan, jos havaitaan epäkelvo merkki
- enf-of-file -bitti
 - viimeinen kehys

22.1.2001

19

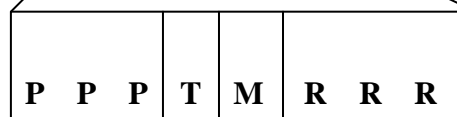
Vuoromerkki



Start Delimiter : datasta eroavaa signallointia

End Delimiter: sisältää error-bitin ja bitin, joka ilmoittaa, milloin tiedosto loppuu

Access Control

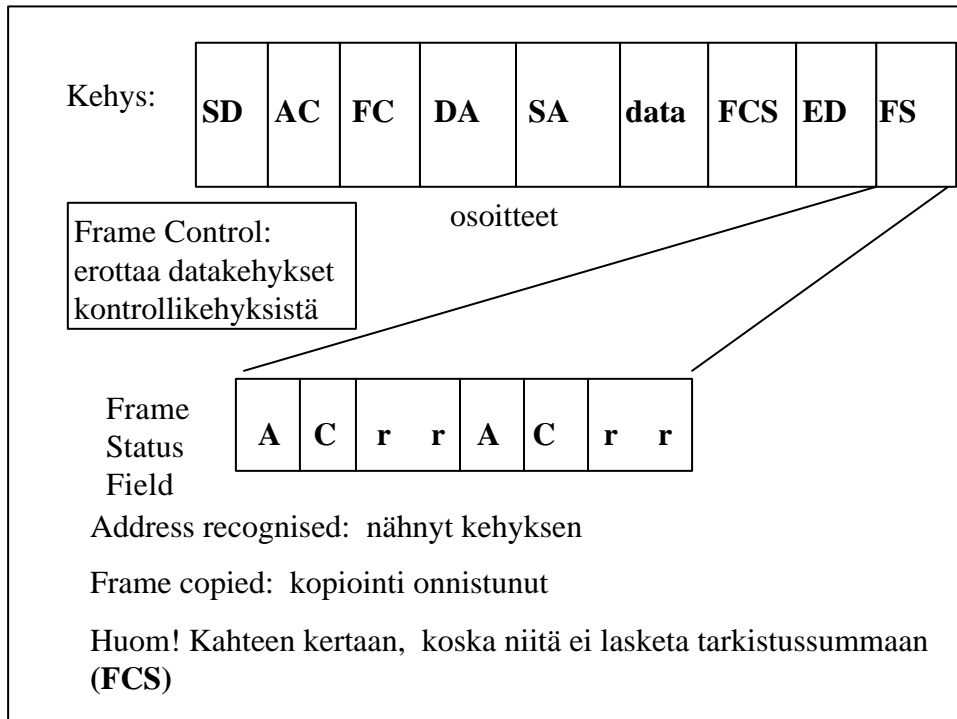


Prioriteettibittit: vuoromerkin prioriteetti

Token bitti: onko vuoromerkki vai kehys

Monitor bitti: havaitaan kiertämään jääneet kehykset

Reservation bitit: asetetaan vuoromerkille uusi prioriteetti

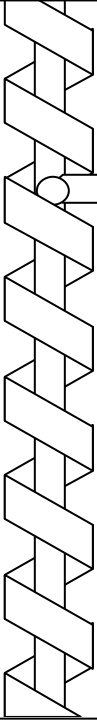


Prioriteetti

- monitasoisia prioriteettejä
- vuoromerkin prioriteetti
 - määrää minkä prioriteetin kehyksiä saa lähettää
 - kolme bittiä vuoromerkin sisällä
- vuoromerkin prioriteetin asetus
 - datakehysten varausbittien avulla
 - varataan vuoromerkkiä korkean prioriteetin lähetykselle

22.1.2001 • kun lähetys loppuu uusi vuoromerkki saa korkeimman varauksen prioriteetin

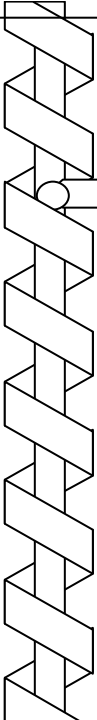
22

- 
- vuoromerkin prioriteetin nostanut, myös laskee sen!
 - alemman prioriteetin kehykset voivat joutua odottamaan ikuisesti

22.1.2001

23

Vuororenkkaan ylläpito

- 
- keskitetty ylläpito
 - yksi asema toimii **valvoja-asemana**
 - kaikki asemat voivat toimia valvonta-asemana
 - jos valvoja-asema vikaantuu
 - ACTIVE_MONITOR_PRESENT -kehystä ei tule
 - tilanteen havainnut asema lähettää
 - CLAIM_TOKEN -kehysten
 - jos useita => kilpailemalla saadaan uusi valvonta-asema

22.1.2001

24



Valvoja-asema valvoo renkaan toimintaa

- vuoromerkin katoaminen
 - vuoromerkin kiertoa valvova ajastin
 - jos laukeaa, rengas tyhjennetään ja lähetetään uusi vuoromerkki
- vaurioituneet kehykset
 - väärä kehysmuoto, tarkistussumma ei täsmää
 - tyhjennys ja uusi vuoromerkki

22.1.2001

25

- 'orvot' kehykset
 - lähettäjä vikaantui, eikä poistanut kehystä
 - kehyksessä monitoribitti
 - valvoja asettaa kehyksen monitoribitin aina, kun kehys ohittaa sen
 - jos kehyksessä on jo bitti asetettu, kehys poistetaan
- renkaan pituuden säätely
 - 24 bitin vuoromerkin tulee mahtua renkaaseen
 - valvoja lisää viivettä tarvittaessa
 - jos renkaan pituus + asemien aiheuttamat 1 bitin viipeet eivät riitä



renkaan rikkoutuminen

- kun asema huomaa renkaan katkenneen
 - sen naapurit vaikuttavat 'kuollelta'
- lähettää BEACON-kehysten
 - jossa oletetun rikkoutuneen aseman osoite
- kehys etenee niin pitkälle kuin voi
 - voidaan päätellä katkoksen alku
- poistetaan rikkoutuneet ohitusreleen avulla
 - rengas kuntoon

22.1.2001

27



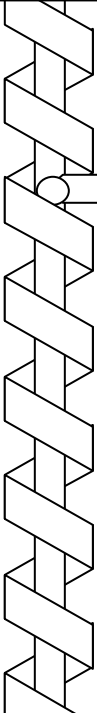
802.3 CSMA/CD

hyvät puolet

- yleisesti käytetty
- yksinkertainen protokolla
- asemien lisääminen helppoa
- passiivinen kaapeli,
- ei modeemia,
- kevyellä kuormalla lähetysviive nolla

22.1.2001

28



802.3 CSMA/CD huonot puolet

- analoginen törmäyksen havaitseminen
- pienin kehys 64 tavua
 - => yleisrasitetta, jos sanomat lyhyitä
- epädeterministinen
- ei prioriteetteja
- raskas kuorma
 - => törmäyksiä => suoritusteho laskee

22.1.2001

29



802.5 vuororengas hyvät puolet

- kaksipisteyhteyksiä
 - rengas voidaan rakentaa mistä tahansa
- täysin digitaalinen
- johtokeskus
 - => automaattinen vikojen havaitseminen ja korjaaminen
- prioriteetit
 - alimman prioriteetin sanomat eivät saa lähetyssaikaa

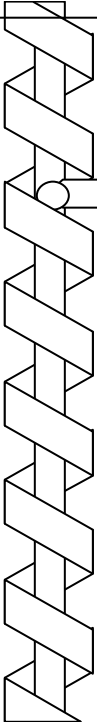
22.1.2001

30

- hyvin lyhyet ja hyvin pitkät kehykset mahdollisia
- suorituskykyinen ja tehokas

• huonot puolet

- keskitetty valvontatoiminto
 - seonnut valvoja voi tehdä mitä vaan
- kevyellä kuormalla turhaa odotusta



FDDI (ss.319-322)

- vuororengas
 - valokuitu
 - 100 Mbps
 - => 200 km
 - 1000 asemaa
- käyttö lähinnä lähiverkkoja yhdistävänä runkolinjana
 - myös tavallisena LANina

22.1.2001

32



synkronista ja asynkronista dataa

- ISDN
- ääntä PCM-koodattuna
- dataa
- ⊗ multimode
- ⊗ LED
- ⊗ BER < 1 virhe / $2.5 \cdot 10^{10}$ bittiä

22.1.2001

33



FDDI: rakenne

- ⊗ kaksi valokuiturengasta
 - toisessa myötäpäivään
 - toisessa vastapäivään
- ⊗ renkaan katkeaminen
 - tarvittaessa renkaat voidaan yhdistää yhdeksi
- ⊗ asemat
 - A: kiinni molemmissa renkaissa
 - B: kiinni vain yhdessä renkaassa

22.1.2001

34

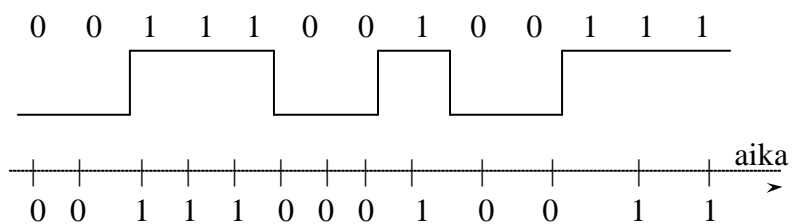
FDDI: koodaus

• koodi '4 out of 5'

- Manchesterin signallointinopeus kaksinkertainen! => paljon kaistaa
- 4 MAC-symbolia => 5-bitin ryhmä
 - 0, 1, 2 'non-data' symbolia
- => 32 eri kombinaatiota
 - 16 DATA: 0000, 0001, ..., 1110, 1111
 - 3 rajoittimia
 - 2 kontrolli
 - 3 'hardware' merkinanto
 - 8 varattu myöh. käyttöön

• menetetään koodin tahdistusapu!

- pitempi tahdistuskenttä alussa
- tarkemmat kellot
 - korkeintaan 0.005 % epätarkkuus sallittu
 - => voidaan lähettää 4500 tavua ennen kuin kellot niin epätahtiset, että syntyy bittivirhe





FDDI: protokolla

• 802.5 -johdannainen

- renkaassa useita lähetyksiä
 - vuoromerkki heti renkaaseen, kun oma lähetys loppunut
- kehys hyvin samanlainen kuin vuororenkaassa

22.1.2001

37

- voidaan lähettää myös synkronisia kehyksiä
 - PCM-ääntä
 - ISDN-dataa
- master-asema generoi kehyksen joka 125 ms
 - PCM: 8000 näytettä sekunnissa
- kehyksessä 96 tavua synkronista dataa
 - 4 T1 kanavaa tai 3 E1 kanavaa
- asemalle varatut aikaviipaleet käytössä, kunnes asema luopuu niistä
 - muut jaetaan tarpeen mukaan
 - korkein prioriteetti ensin

☉ kolme ajastinta

- token holding timer
 - säätelee lähetysaikaa
- token rotation timer
 - vuoromerkin kiertoaika
- valid transmission timer
 - tilapäisistä rengasvirheistä toipumiseen

☉ jos vuoromerkki etuajassa, kaikkia voidaan lähettää, jos myöhässä vain korkeimman prioriteetin sanomat (synkronisen liikenteen kehykset)

☉ Asynkroniset kehykset voidaan jakaa 8 prioriteetti luokkaan

- kullekin luokalle oma ajastin

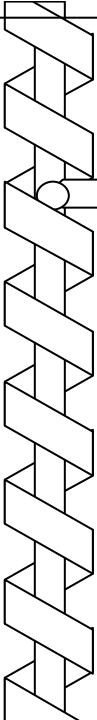


LLC (Logical Link Control)

- LAN 802 - ja MAN-verkot
- vuonvalvonta, virhevalvonta, yhtenäinen rajapinta erilaisiin verkkoihin
- ~ OSI-malli, HDLC
- **Palvelut:**
 - epäluotettava datasähkepalvelu,
 - kuittaava datasähkepalvelu,
 - luotettava yhteydellinen palvelu

22.1.2001

41



Silta (bridge) (ss. 304-318)

- yhdistää LAN-verkkoja
- linkkitason olio
 - toistin: 'pala kaapelia'; fyysisellä tasolla
 - **silta:** 'ovi' linkkitasolla
 - reititin: verkkotasolla
- tuntumaton silta (transparent bridge)
- **lähdereitittävä silta** (source routing bridge)

22.1.2001

42



Käyttötarpeita

- osastoverkot
- maantiede: hajautus
- etäisyydet: yhdistäminen
- kuormituksen jakaminen
- häiriöiden rajoitus paikalliseksi
- suojaus: lähiverkkojen looginen eristäminen

22.1.2001

43



Verkkojen yhdistäminen

- voi yhdistää samanlaisia lähiverkkoja
 - eetteri-eetteri
 - vuoroväylä-vuoroväylä
 - vuororengas - vuororengas
- voi yhdistää erilaisia lähiverkkoja
 - esim. eetteri- vuororengas
 - vuoroväylä - vuororengas
- kaikkiaan 9 erilaista yhdistelmää
 - kaikissa omat ongelmat

22.1.2001

44

Yhteiset ongelmat yhdistämisessä

• kehysrakenne

- joka LANilla oma kehys
 - uuden kehysten muodostaminen,
 - tarkistussumma laskettava uudelleen,
 - => silta on uusi virhelähde

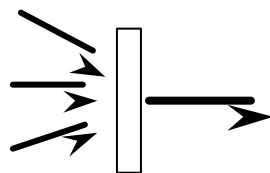
• siirtonopeus

- eri datanopeuksia
 - CSMA/CD: 1, 2, 10 Mbps
 - vuoroväylä: 1, 5, 10 Mbps
 - vuororengas: 1, 4, 16 Mbps

22.1.2001

45

- CSMA/CD: törmäykset
- eri virroilla yhteinen kohde



- => kehysten puskuointi tarpeen
– puskurien ylivuoto

• ylempien kerrosten ajastimet

- => tarpeettomia uudelleenlähettyksiä

- ☉ kehyksen maksimipituus

- eetteriverkko 1500 tavua,
- vuoroväylä 8191 tavua,
- vuororengas vuoromerkki rajoittaa 5000 tavua

- linkkikerroksen tehtäviin ei kuulu kehyksien pilkkominen ja kokoaminen

- ☉ mitä tehdään ylipitkälle kehykselle?

- jos liian iso, roskeen

- ☉ prioriteetti

- CSMA/CD: ei prioriteettia
- vuororengas ja vuoroväylä: prioriteetti,
 - mutta erilainen

- ☉ kuittauspyyntö (vuoroväylä)

- jos kehyksessä kuittauspyyntö, kuka vastaa
 - silta
 - ei kukaan

- ☉ kuittaus (vuororengas)

- A- ja C-bitit (nähty/kopioitu)
- sama ongelma, kuka vastaa



Siltojen edut

- verkkojen ja asemien määrää helppo kasvattaa
- erilaisia lähiverkkoa
- sillat eivät näy ylemmille kerroksille
- voidaan kerätä tietoja ja säädellä pääsyä
- luotettavuus ja suorituskyky kasvaa

22.1.2001

49



Siltojen haitat

- sillat puskuroivat ja aiheuttavat viivettä
- ei vuonsäätelyä => sillan kapasiteetti voi ylittyä
- kehysrakenteen muuttaminen => virheitä jää havaitsematta
- **Yleisesti edut selvästi suuremmat kuin haitat**

22.1.2001

50



Sillan portit

- Lähiverkko liitetään siltaan **portin** kautta

- yksinkertaisissa silloissa vain kaksi porttia
- monipuolisissa useita

- Portti

- MAC-piiri

- noudattaa vastaavan lähiverkon protokollaa
- CSMA/CD, vuororengas, vuoroväylä

- ohjelmisto

- huolehtii alustuksesta
- puskurin hallinnasta

22.1.2001

51



Tuntumaton silta

(transparent bridge, spanning tree bridge)

- 'plug and play'

- ei mitään muutoksia laitteistoon, ohjelmistoon
- ei reititystauluja ja parametrien asettelua
- ei vaikuta itse LANien toimintaan

- silta huolehtii kehysten ohjaamisesta oikeaan porttiin

- oppii asemien portit kuuntelemalla kaikkea liikennettä
- jos ei tiedä, niin tulvittaa
 - ei saa olla silmukoita =>virittävä puu

22.1.2001

52

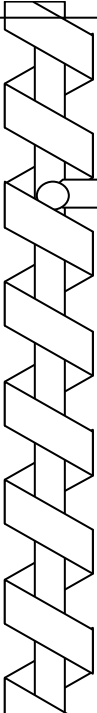


Lähdereittisillat (Source routing bridges)

- tuntumattomat sillat
 - helppo asentaa
 - tuhlaavat kapasiteettia
 - käyttävät vain virittävää puuta
- erimielisyyttä standardoimiskomiteassa
 - vuororenkkaan käyttäjät + IBM kannattivat lähdereititystä

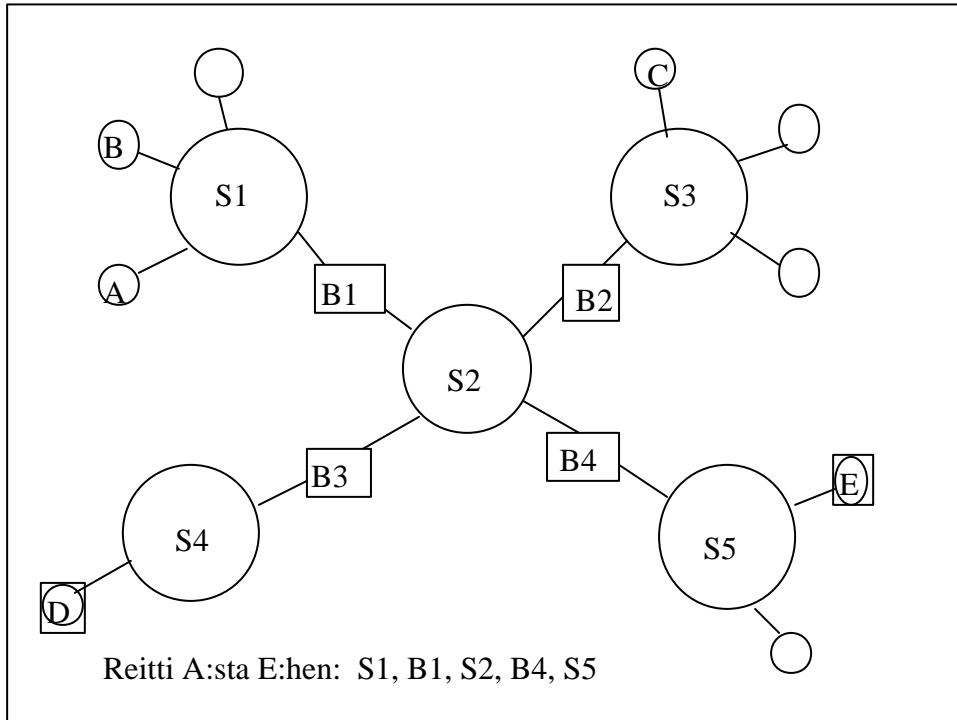
22.1.2001

53

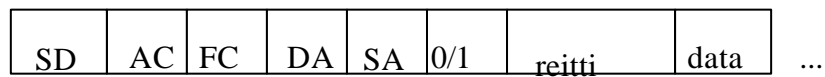
- 
- kehyksen lähettävä asema varustaa kehyksen reittitiedoilla
 - jokaisella lähiverkolla on 12-bittinen yksikäsitteinen tunnus
 - jokaisella sillalla on oma 4-bittinen tunnus
 - reitti koostuu silta- ja verkkotunnuksista
 - silta, LAN, silta, LAN, ... silta, LAN

22.1.2001

54

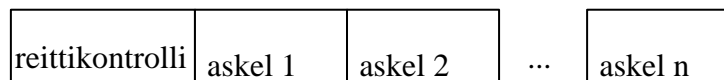


Kehyksen rakenne

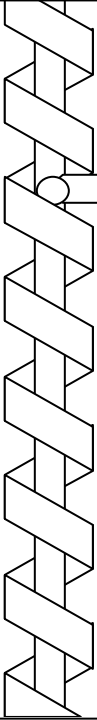


onko reitti mukana vai ei

◆ reittikenttä on muotoa



verkk-ID, silta-ID



Tuntumaton vs. lähdereitittävä silta

• **tuntumaton silta**

- yhteydetön
- täysin tuntumaton lähiverkoille
- automaattinen uudelleen konfigurointi
- reititys ei välttämättä optimaalinen
- uuden aseman löytäminen: backward learning
 - jos joku kertoo
 - tulvitus
- monimutkaisuus silloissa
 - vähän siltoja

22.1.2001

57



• **lähdereitittävä silta**

- yhteydellinen
- tuntuva
- konfigurointi ei ole automaattista
- uuden löytäminen: discovery frame
 - raskas operaatio, paljon yleisrasitetta
- monimutkaisuus isäntäkoneissa
 - näitä on paljon

22.1.2001

58



Etäsillat (remote bridges)

- yhdistetään etäällä toisistaan olevat lähiverkot silloilla
 - sillat yhdistetään pareittain kaksipisteyhteyksillä
 - “isännättömiä lähiverkkoja”
- kaksipisteyhteyksillä linkkiprotokolla
 - MAC-kehys ko. protokollan datakenttään
 - ‘riisuttu MAC-kehys’ (= vars. data) datakenttään ja kohde generoi siitä uuden MAC-kehysten
 - tarkistussumma laskettava uudelleen => virheitä!

22.1.2001

59



Laajaverkot (WAN)

- Puhelinverkko
 - runkolinjat
 - digitaalisia, kuitua
 - local loop
 - analoginen, kierretty pari
 - kanavointi