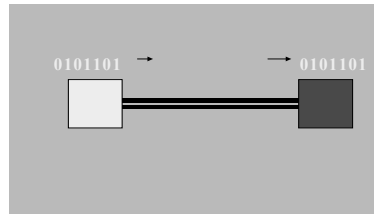


5. Siirtoyhteyskerros

linkkikerros (Data Link Layer)

- yhtenäinen linkki solmusta solmuun
 - bitit sisään => bitit ulos
- ongelmia:
 - siirtovirheet
 - havaitseminen
 - korjaaminen
 - solmun kapasiteetti
 - vuonvalvonta
 - yhteisen kanavan käyttö



2/18/2004

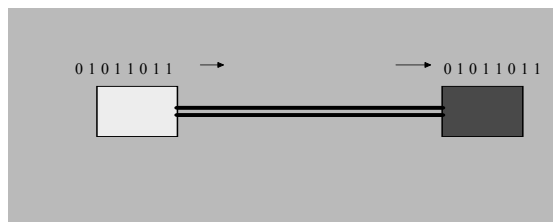
1

Kaksipisteyhteydet

Virhevalvonta

- * virheiden havaitseminen
- * virheiden korjaus

Vuonvalvonta



2/18/2004

2

Bittivirta \Leftrightarrow kehysksiä

■ tavoite

- bittivirheiden hallinta
 - muuttuu
 - katoaa
 - monistuu

■ bittivirta jaetaan kehysiksi (frame)

- Mistä tiedetään kehysrajat bittivirrassa?

■ \Rightarrow kehys tarkistettavissa

- lisäämällä tarkistustietoa

2/18/2004

3

Kehysten kuljetus

■ tavoite

- kaikki kehykset
- kukin kehys virheettömästi
- lähetysjärjetyksessä

■ vastaanottaja kertoo lähettäjälle

- ACK: kehys vastaanotettu ok
 - tietty kehys
 - kaikki kehykset tähän asti
- NAK: kehyksessä vikaa \Rightarrow lähetettävä uudelleen
- Saako lähettää lisää vai pitääkö keskeyttää
 - vuonvalvonta

2/18/2004

4

Virheet

- **Kahdenlaisia virheitä:**
 - yhden bitin virheitä siellä täällä
 - usean peräkkäisen bitin virheryöppy (burst error)
- **Virheiden esiintymistiheys**
 - BER (bit error rate)
 - mitä suurempi BER, sitä lyhyempiä kehyksiä kannattaa käyttää

2/18/2004

5

Missä virhe hoidetaan?

- **kuittaava linkkikerros havaitsee virheet ja korjaa ne**
- **yhteydetön, kuittaamaton & virhe => kuljetuskerros havaitsee ja korjaa**
- **ja jos ei, niin sovelluskerros havaitsee ja korjaa**
- **ja jos ei, niin asiakas havaitsee ja korjaa**

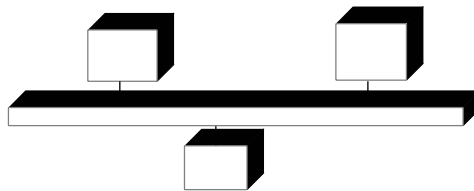
2/18/2004

6

Yhteiskäyttöinen siirtomedia

Yleislähetys (broadcast)

- Radiolähetykset, satelliittilähetykset, lähiverkot
 - lähetys onnistuu, jos kullakin hetkellä vain yksi lähettää;
 - usea samanaikainen lähetys => lähetykset tuhoutuvat
- **datan lähetystä täytyy jotenkin säännellä => säännöt määräävä protokolla (MAC)**



2/18/2004

7

Linkkikerrokset tehtäviä:

- kehystys, jotta virheen havaitseminen mahdollista
- virheiden havaitseminen, jotta virhe huomataan
- virheiden korjaaminen, jotta saadaan oikea tieto
- luotettava tiedonsiirto kuittauksilla
- vuonvalvonta, jotta ei tuhota jo lähetettyjä kehyksiä
- yleislähetyslinkkien lähetysvuorojen sääntely, jotta lähetys ylipäänsä onnistuisi

2/18/2004

8

5.2. Virheiden havaitseminen ja korjaaminen

Virheiden takia dataan lisäinformaatiota:

- **virheen korjaamiseksi** (error-correcting code, forward error correction (FEC))
 - lisäinformaatiota niin paljon, että vastaanottaja sekä havaitsee että kykenee itse korjaamaan virheen
- **virheen havaitsemiseksi** (error-detecting code, feedback/backward error control)
 - lisäinformaatiota, jotta vastaanottaja havaitsee virheen tapahtuneen
 - korjauksena uudelleenlähetyks
 - viallisen kehyksen poisheittäminen

2/18/2004

9

Virheen korjaus/havaitseminen

- **virheen korjaava koodaus**
 - kallis koko ajan
 - paljon lisäinformaatiota
 - rajoitettu korjauskyky
 - esim. kokonaan kodonnut kehys
- **virheen havaitseva koodaus**
 - virheen sattuessa kallis
 - uudelleen lähettäminen maksaa
 - » siirtokapasiteetti, käsittely
 - uudelleen lähettäminen on hidasta
 - » Aikaa kuluu ennenkuin tulee kuittaus ja saadaan lähetettyä uudestaan

2/18/2004

10

Virheen korjaus

- Käytetään esim.
 - CD- ja DVD-levyissä, digitaalitelevisiossa
 - nopeissa modeemeissa (esim. ADSL), langattomissa yhteyksissä (kännykkä)
 - satelliittiyhteyksissä, avaruusluotaimissa
- Esimerkkejä
 - **Hamming-pariteettitarkistus** (Tito-kurssilla)
 - » pystyy korjaamaan yhden virheellisen bitin
 - » virheryöpyn, jos se jaetaan yhden bitin virheiksi
 - Reed-Solomon -koodit
 - » lohkokodeja , jotka pystyvät korjaamaan virheryöppyjä

2/18/2004

11

Virheen havaitseminen

- **Pariteettibitti**
 - parillinen pariteetti
 - pariton pariteetti
- **Horizontaaliset ja vertikaaliset pariteetit**
- **Internet-tarkistussumma**
- **CRC (Cyclic redundancy code (tai check))**
 - yleisesti käytetty virheen paljastusmenetelmä
 - perustuu polynomien aritmetiikkaan (modulo2-aritmetiikkaan, XOR)
 - useita tarkistusbittejä => havaitaan usean bittivirheen ryöppy

2/18/2004

12

Pariteetti

- esimerkki yksinkertaisesta virheen havaitsevasta koodista
- jokaiseen merkkiin lisätään yksi ylimääräinen ns. pariteettibitti
 - lisäyksen jälkeen kaikissa merkeissä on parillinen (tai jos niin sovitaan pariton) määrä ykkösiä

1100111	1
---------	---

- Pariton määrä bittivirheitä havaitaan
 - kehyksen pituudesta riippumatta
- Mutta ei parillista määrää bittivirheitä

1100011	1
---------	---

0100011	1
---------	---

2/18/2004

13

Pariteettibitin käyttö

- erityisesti asynkronisessa tiedonsiirrossa merkkejä siirrettäessä
- käytännössä paljastaa noin puolet virheellisistä bittijonoista
 - esim. modeemeissa syntyy useita virheitä
 - linjahäiriöt aiheuttavat usein pitkiä virheryöppyjä

2/18/2004

14

Horisontaaliset ja vertikaaliset pariteetit

- järjestetään bittijono kaksiulotteiseen taulukkoon
- lasketaan pariteetti jokaiselle vaaka- ja pystyriville

1001010		1	
0111010		0	
1110001		0	horisontaaliset
1000111		0	pariteetit
0011001		1	
<hr/>			
1011111		0	taulukon pariteetti
			vertikaaliset
			pariteetit

2/18/2004

15

Virheiden havaitseminen

- Ei löydä lyhyitä virheryöppyjä, joissa neljä bittiä vaihtuu sopivasti

1	0	0	1	0	1	0
0	1	①	1	①	1	0
1	1	1	0	0	0	1
1	0	①	0	①	1	1

2/18/2004

16

Internetin tarkistussumma

- lasketaan paketin tai sen otsakkeen 16-bittiset sanat yhteen käyttäen yhden komplementin yhteenlaskua
 - ‘ylivuotaneet’ muistibitit lisätään summaan
- otetaan summasta yhden komplementti
 - Summan ykköset nolliksi and nollat ykkösiksi
- käytetään Internet-protokollissa
 - UDP- ja TCP -protokollissa
- monia virhekombinaatioita jää havaitsematta
 - riittävän hyvä, jos virheitä vähän

2/18/2004

17

CRC:n perusidea

- tarkistusavain (virittäjä, virittäjäpolynomi)
 - bittejä yksi enemmän kuin tarkistusbittejä
 - lähettäjä ja vastaanottaja tuntevat
- lähettäjä
 - laskee lähetettävälle datalle tarkistusavaimen avulla tarkistusbitit ja liittää ne kehykseen
- vastaanottaja
 - tarkistaa, onko koko saapunut kehys (data + tarkistusbitit) pysynyt muuttumattomana

data= D tarkistusbitit= R

1	0	0	1	1	0	1	1	0		R	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	--

d bittinä r bittinä

2/18/2004

18

Esimerkki: data = 101110, virittäjä = 1001,

(polynomina $X^3 + 1$), tarkistusbittejä 3

Lähetettävä data = 101110??? tarkistusbitit

```
      101011
1001 | 101110000
      1001
      ---
      1010
      1001
      ---
      1100
      1001
      ---
      1010
      1001
      ---
      0011 = tarkistusbitit
```

Modulo 2-aritmetiikka:

$1+1 = 0$ (XOR) =>

vähennyslasku = yhteenlasku

Lähetetään: 101110 011

Vastaanottaja jakaa saamansa kehyksen virittäjällä. Kehys on ok, jos jakojäännös on 0!

Kuinka näin?

- $D \cdot 2^{**r}$ lisätään r nollaa datan perään = kerrotaan 2^{**r} :llä
- $D \cdot 2^{**r} \oplus R = n G$ data \oplus tarkistusbitit on tasan jaollinen virittäjällä G ($\oplus = \text{XOR}$)
- $(D \cdot 2^{**r} \oplus R) \oplus R = n G \oplus R$ lisätään (\oplus) kummallekin puolelle
- $D \cdot 2^{**r} = n G \oplus R$ koska $R \oplus R = 0$
- $R =$ jakojäännös, kun jaetaan $D \cdot 2^{**r} / G$

Standardoituja virittäjäpolynomeja

- $\text{CRC-12} = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
- $\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- $\text{CRC-32} = x^{32} + x^{26} + x^{23} + \dots + x^4 + x^2 + x + 1$

CRC: n virheiden havaitsemiskyky

- kaikki virheryöpyt, joiden pituus < tai = kuin virittäjän
- useimmat virheryöpyt, joiden pituus on suurempi
 - CRC-32: $P\{\text{ryöppy} > 33 \text{ havaitaan}\} = 0.999999998$
- Huom
 - Arvioinneissa lähtökohtana ollut täysin satunnainen bittien jakautuminen, mutta todellisuudessa näin ei ole!
 - Joten havaitsemattomien virheiden määrä on arvioitua suurempi.

2/18/2004

21

Vuonvalvonta

- Liukuva ikkuna
 - ikkunan koko rajoittaa lähettämistä
 - jos kehyksen numero ei ole ikkunassa, sitä ei oteta vastaan
 - kuittaus siirtää ikkunaa eteenpäin
- stop-sanoma
 - Receive not ready

2/18/2004

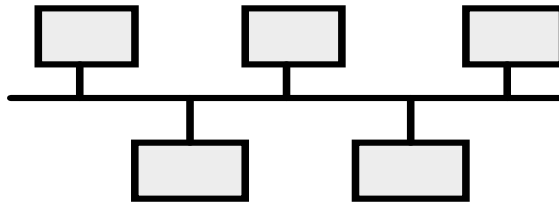
22

5.3. Yhteiskäyttöinen kanava

■ yleislähetys (broadcast)

- multiaccess channel
- random access channel
- LAN (Ethernet)
- langaton

■ ongelma: käyttövuoron 'jakelu'



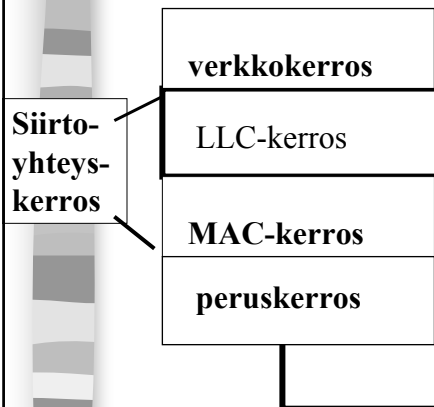
2/18/2004

23

Linkkikerroksen alikerrokset

MAC = Medium Access Control

LLC = Logical Link Control



2/18/2004

24

Törmäys

- yksi yhteinen kanava lähettäjille
 - lähetys onnistuu vain, jos yksi lähettää
- Jos useampi kuin yksi lähettää, syntyy **yhteentörmäys** (collision)
 - kaikki törmänneet sanomat tuhoutuvat ja ne on lähetettävä uudelleen
 - vaikka törmäisivät vain yhden bitin verran
 - **kaikkien havaittavissa**
 - LAN: törmäyssignaali
 - satelliittikanava: kuuntelee oman lähetyksensä
 - WLAN: ilmoitus vastaanottajalta

2/18/2004

25

Eri yhteiskäyttötapoja on hyvin paljon:

- **kilpailu** Aloha, CSMA, **CSMA/CD**
 - ‘se ottaa, joka ehtii’
- **vuorotellen**: pollaus, vuoromerkki, varaus
 - ‘Minä ensin, sitten sinä’
 - Vuorot jaetaan jollakin tavalla
 - Varauksessa: varaukseen käytetään usein kilpailua
- kanava jaetaan: TDMA, FDMA, **CDMA**
 - ‘käytä sinä tätä puolta ja minä tätä toista’

2/18/2004

26

Hyviä ominaisuuksia MAC-protokollalle:

■ Pieni yleisrasite:

- kun yksi lähettää se pystyy hyödyntämään koko kanavan kapasiteetin R bps

■ Tasapuolisuus:

- kun M lähettäjää, kukin saa keskimäärin saman osuuden linjan kapasiteetista (R/M bps)

■ Toimintavarmuus:

- hajautettu vuoroistasopiminen

■ Kustannustehokas:

- Yksinkertainen ja halpa toteuttaa

2/18/2004

27

Yleislähetysprotokollia

Esimerkkejä:

■ CDMA

- radiolinjoilla käytetty koodinjakoon perustuva protokolla
- TDMA, FDMA
 - Ei törmäyksiä, mutta tuhlaavat kapasiteettia;
 - Jokainen saa käyttöönsä aina vain R/M bps, vaikka olisi ainoa lähettäjä!

■ CSMA/CD ()

- mm. Ethernet-verkossa käytetty kilpailuprotokolla
- Aloha ja CSMA edeltäjiä

2/18/2004

28

Kanavan jakoprotokollat

- **TDMA**
 - aikajako
 - asemalla oma aikaviipale
- **FDMA**
 - taajuusjako
 - asemalla oma taajuusalue
- **CDMA**
 - koodijako
 - asemalla oma koodi
 - asemat voivat lähettää yhtäaikaan!

2/18/2004

29

CDMA (Code Division Multiple Access)

- **yksi kanava**
 - usea samanaikainen lähetys
 - kukin koko kanavan taajuudella!
- yhden bitin lähetysaika jaetaan pienempiin osiin (aikasiruihin)
 - 64 tai 128 sirua bittiä kohden
- kullakin asemalla oma 'sirukuvio' 1-bitin lähetykseen
 - 0-bitti on tämän yhden komplementti

2/18/2004

30

Esimerkiksi:

- aseman A 1-bitti: 00011011
0-bitti: 11100100
- aseman B 1-bitti: 00101110
0-bitti: 11010001
- aseman C 1-bitti: 01011100
0-bitti: 10100011
- aseman D 1-bitti: 01000010
0-bitti: 10111101

Ps. Oikeasti käytetään 64 tai 128 sirua

2/18/2004

31

Laskemisen helpottamiseksi

- koodataan sirut 0 ja 1 seuraavasti:
 - 1 = 1
 - 0 = -1
- aseman A 1-bitti: 00011011 = -1 -1 -1 1 1 -1 1 1
0-bitti: 11100100 = 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1
- aseman B 1-bitti: 00101110 = -1 -1 1 -1 1 1 1 -1
0-bitti: 11010001 = 1 1 -1 1 -1 -1 -1 1
- aseman C 1-bitti: 01011100 = -1 1 -1 1 1 1 -1 -1
0-bitti: 10100011
- aseman D 1-bitti: 01000010 = -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1
0-bitti: 10111101

2/18/2004

32

Kaikki bittikuviot **parittain ortogonaalisia**:

■ $A \bullet B = 0 = 1/m \sum A_i B_i$ (sisätulo)

■ $A \bullet A = 1$

■ $-A \bullet A = -1$

■ \Rightarrow yhteissignaalista löydetään eri asemien omat lähetykset!

A:n 1-bitti: 00011011 = -1 -1 -1 1 1 -1 1 1

B:n 1-bitti: 00101110 = -1 -1 1 -1 1 1 1 -1

$$A \bullet B = 1+1+-1+-1+1+-1+1+-1$$

$$= 0 \Rightarrow \text{keskenään ortogonaalisia}$$

2/18/2004

33

■ kukin asema lähettää omat 1-bittinsä ja 0-bittinsä

■ kun moni lähettää samanaikaisesti tuloksena on **yhteissignaali S**.

• lähetettyjen signaalien 'summa'

■ aseman datan 'purkaminen' yhteissignaalista

• A = aseman oma bittikuvio

• $S \bullet A$ tuottaa aseman lähettämän bitin

» kerrottuna bitin aikasirujen lukumäärällä

2/18/2004

34

Esimerkki

- merkintä 1 =1, 0 = -1,
- helpompi laskea yhteen

$$\blacksquare S = (-2 -2 0 -2 0 -2 4 0)$$

$$\blacksquare C = (-1 1 -1 1 1 1 -1 -1)$$

$$\blacksquare S \bullet C = (2 -2 0 -2 0 -2 -4 0) \\ = -8 \Rightarrow -1$$

■ eli **C lähetti 0-bitin**

Esimerkki jatkuu:

Mitä B lähetti?

$$\blacksquare S = (-2 -2 0 -2 0 -2 4 0)$$

$$\blacksquare B = (-1 -1 1 -1 1 1 1 -1)$$

$$\blacksquare S \bullet B = (2 2 0 2 0 -2 4 0) \\ = 8 \Rightarrow 1$$

■ eli **B lähetti 1-bitin**

Esimerkki jatkuu

Entä mitä A lähetti?

■ $S = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ 4 \ 0)$

■ $A = (-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1)$

■ $S \bullet A = (2 \ 2 \ 0 \ -2 \ 0 \ 2 \ 4 \ 0)$
 $= 8 \Rightarrow 1$

■ eli **A lähetti 1-bitin**

■ **Lähettkö myös D jotain?**

Käytännössä CDMA on vaativa toteuttaa

- 64 tai 128 bitin ortogonaalisia koodeja
- edellyttää signaalien voimakkuuksien vertailua ja yhteenlaskua \Rightarrow signaalien heikkeneminen eri etäisyyksillä otettava huomioon
- tarkat ajoitukset
- tunnettava lähettäjiä sirukoodit
sirukoodit

Kilpailuprotokollia (Random Access Protocols)

- Aina kun asema haluaa lähettää, se pyrkii lähettämään
 - Se yleensä ensin kuuntelee, onko joku muu asema jo lähettämässä. Jos mikään asema ei lähetä, niin aloitetaan lähettäminen.
- Jos tulee törmäys, niin odotetaan satunnainen aika ennen uudelleenlähettämistä

Esimerkkejä:

- Aloha
- CSMA
- **CSMA/CD**
 - mm. Ethernet-verkossa käytetty kilpailuprotokolla

2/18/2004

39

Lähetyskanavan kuuntelu (carrier sense)

- käynnissä olevan lähetyksen havaitseminen
 - asema tutkii, onko kanava jo käytössä
 - ennen lähetystä tutkitaan, onko joku muu lähettämässä
 - jos on, ei lähetetä
 - yleensä lähiverkot (CSMA)
- asema ei tutki kanavan käyttöä
 - asema lähettää aina kun haluaa
 - lähettämisen jälkeen havaitaan onnistuiko
 - esim. satelliitilähetys

2/18/2004

40

Kanavan kuuntelu

- ei aina paljasta jo alkanutta lähetystä
 - etenemisviipeen takia

- tai ole järkevää
 - esim. satelliittikanavan kuuntelu ei paljasta sitä, onko joku toinen maa-asema jo aloittanut lähetyksen
 - langattomassa lähiverkossa lähettäjän ympäristön kuuntelu ei kerro sitä, onko vastaanottaja saamassa sanomia muualta

2/18/2004

41

ALOHA

- Hawaiiilla, 70-luvulla radiotietä varten
- puhdas ALOHA (pure Aloha):
 - asema lähettää aina heti, kun sillä on lähetettävää;
 - ei mitään kuuntelua ennen lähetystä
 - ja samalla kuuntelee, onnistuiko lähetys
 - lähiverkossa törmäys havaitaan 'heti', sillä siirtoviive pieni
 - toisin kuin satelliitilla!
 - jos törmäys, niin lähettäjä odottaa satunnaisen ajan ja yrittää uudelleen
 - maksimaalinen tehokkuus ~18%

2/18/2004

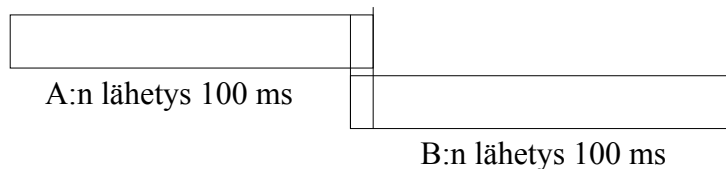
42

Viipaloitu ALOHA (Slotted Aloha)

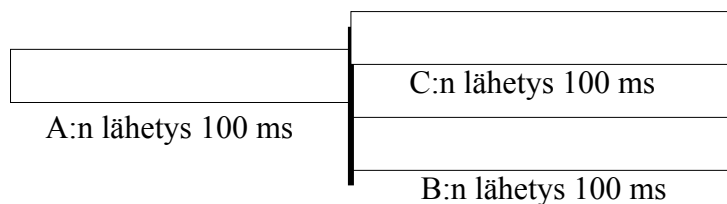
- lähetysaika jaettu aikaviipaleiksi
- lähetys voi alkaa vain aikaviipaleen alussa
- törmäykset täydellisiä
 - lähetykset samassa aikaviipaleessa
 - törmäysvaara-aika = yhden aikaviipaleen mittainen
- suorituskyky kaksinkertaistuu
 - maksimi ~ **37%**
 - siis 37% tyhjiä, 37% onnistuneita, 26% törmäyksiä

2/18/2004

43



Törmäyksessä molemmat lähetykset menevät piloille ja lähetyksaikaa hukkaan 100 ms + 100 ms!



Törmäykset täydellisiä: Vaikka molemmat lähetykset menevät pilalle, niin lähetyksaikaa kuluu hukkaan vain 100 ms.

2/18/2004

44

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

■ toiminta

- kuuntele linjaa ennen lähettämistä
- jos linja vapaa lähetä (yleensä)
- jos linja varattu odota satunnainen aika ja yritä uudelleen

■ Suorituskyky:

- törmäysvaara vain jos asemat lähettävät niin samanaikaisesti, että eivät siirtoviipeen vuoksi havaitse toista lähetystä
- ongelma, jos siirtoviive on pitkä

2/18/2004

45

CSMA/CD (Collision Detection)

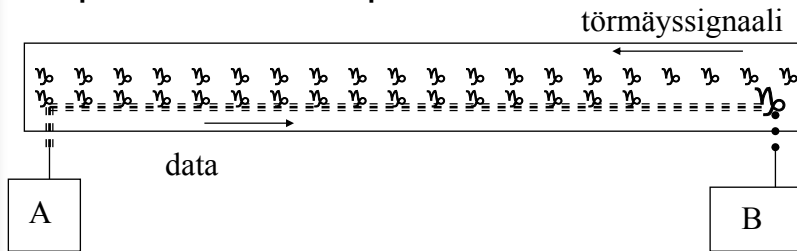
- keskeyttää lähettämisen heti, kun havaitsee törmäyksen tapahtuneen
 - törmäyksen aiheuttama hukka-aika pienenee
- 'epävarmuuden aika' on 2τ , τ on maksimi etenemisviive kahden aseman välillä
- jos törmäys
 - => havaitaan ja lopetetaan lähetys
 - => yritetään uudestaan satunnaisen ajan kuluttua

2/18/2004

46

Väylää kuunneltava

■ pahimmassa tapauksessa



- => kehyksen lähetyksen minimikesto=
 $2 \cdot \text{etenemisviive väylällä}$

2/18/2004

47

Vuorottavat protokollat

■ Varausprotokollat

lähetysvuorot varataan etukäteen

– varausvaihe

- usein kilpaillaan varauksista

»törmäyksiä, mutta vähän

– lähetysvaihe


- kaikki varanneet lähettävät sanomansa

– hyvin paljon erilaisia versioita

- **etenkin satelliittiyhteyksille**

2/18/2004

48



■ Pollaus (vuorokysely)

- isäntäasema antaa vuorotellen muille asemille lähetyksluvan

■ Vuoromerkki

- asemilla kiertää vuoromerkki (token)
- asema saa lähettää vain kun sillä on vuoromerkki
- kun asema on lähettänyt tai sillä ei enää ole lähetettävää, se siirtää vuoromerkin seuravalle

2/18/2004

49



5.4. LAN-osoitteet ja ARP

■ (lähi)verkko-osoite

- fyysinen osoite
- MAC-osoite

■ Eetteriverkossa (sovitinkortissa)

- 48 bittiä
- joka kortissa oma ainutkertainen pysyvä numero (ROM-muistissa)

■ lähiverkkoon liitetyt laitteet ymmärtävät vain LAN-osoitteita

2/18/2004

50

2**24 kpl

2**24 kpl

--	--

Kaikkiaan 48 bittiä, joista 24 bittiä kertoo sovitinkortin valmistajan ja 24 bittiä identifioi sovitinkortin.

Kuudesta tavusta koostuva osoite: 1A-23-F9-CD-06-9B

Osoite on kiinteä ja säilyy, vaikka laite siirretään toiseen verkkoon.

Sovitin välittää omalle koneelleen vain omalle koneosoitteelleen osoitetut sanomat.

LAN-yleislähetysosoite: FF-FF-FF-FF-FF-FF

2/18/2004

51

LAN-osoitteen käyttö

■ Jotta datagrammi voidaan lähettää lähiverkossa oikeaan koneeseen, on tunnettava koneen LAN-osoite

– Datagrammissa on vain IP-osoite!

- IP-osoite => LAN-osoite
- Samankaltainen ongelma kuin selvitettyä domain-osoitetta vastaava IP-osoite.
 - DNS ratkaisi ongelman domain-osoite => IP-osoite

2/18/2004

52

IP-osoite => LAN-osoitteeksi

■ ARP-taulu

- IP-osoitteiden muuttamiseksi LAN-osoitteiksi

- IP-osoite, sitä vastaava LAN-osoite, aikaleima

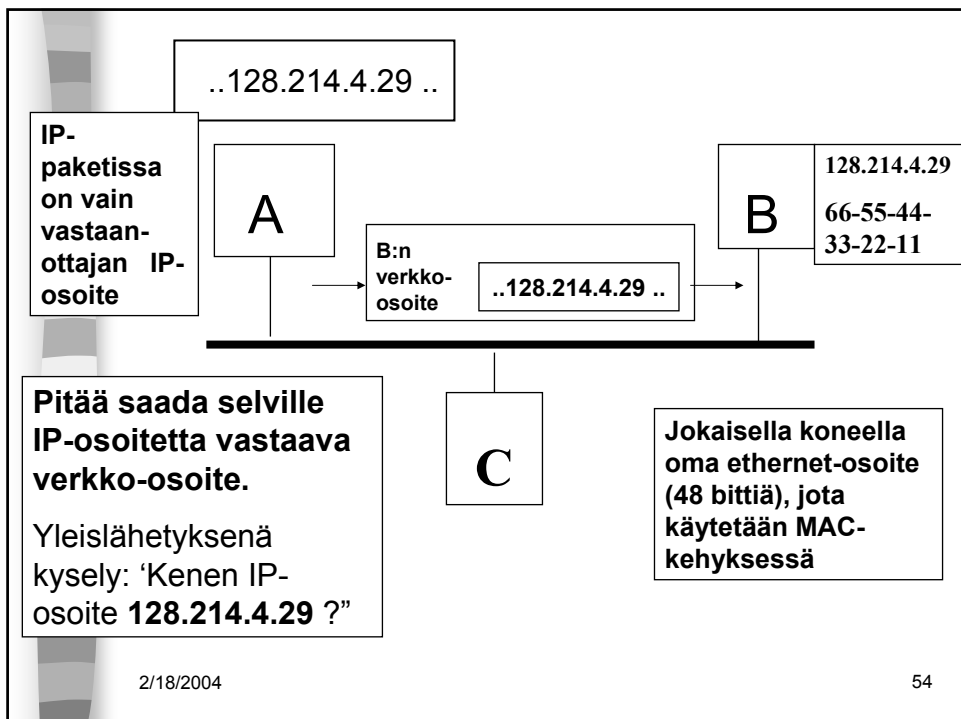
- vanhentuneet tiedot katoavat taulusta (n. 20 minuuttia)

■ Entä, jos IP-osoitetta ei ole taulussa?

- Sovelluskerroksella DNS, jolta kysyttiin.
- LAN:ssa kaikki asemat yleensä kuulevat kaikki lähetykset (yleislähetys).
- Hyödynnetään tätä ominaisuutta!

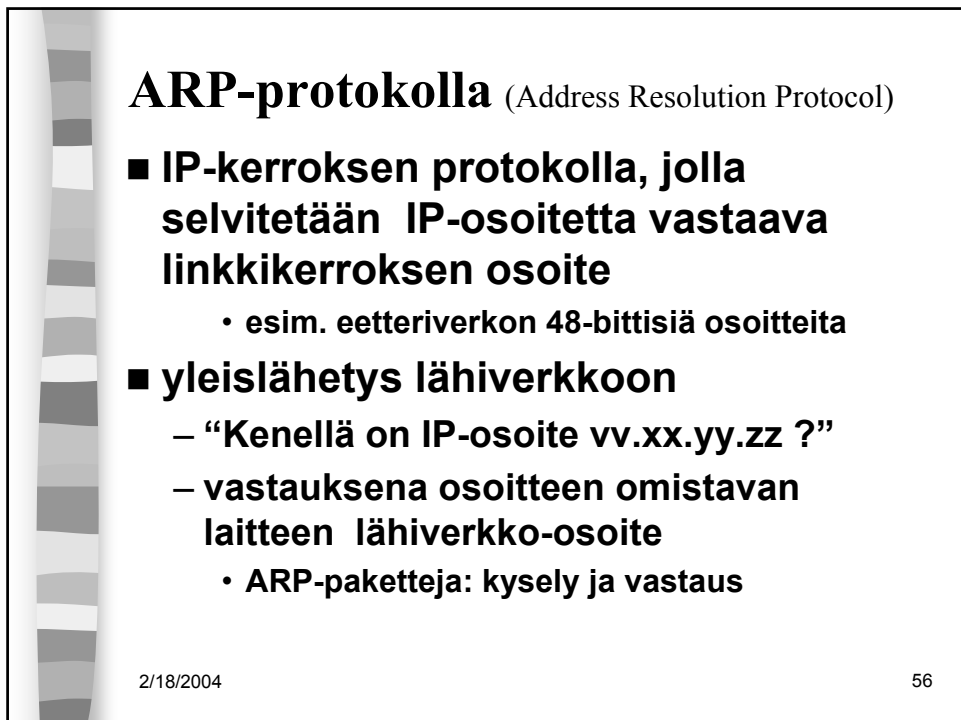
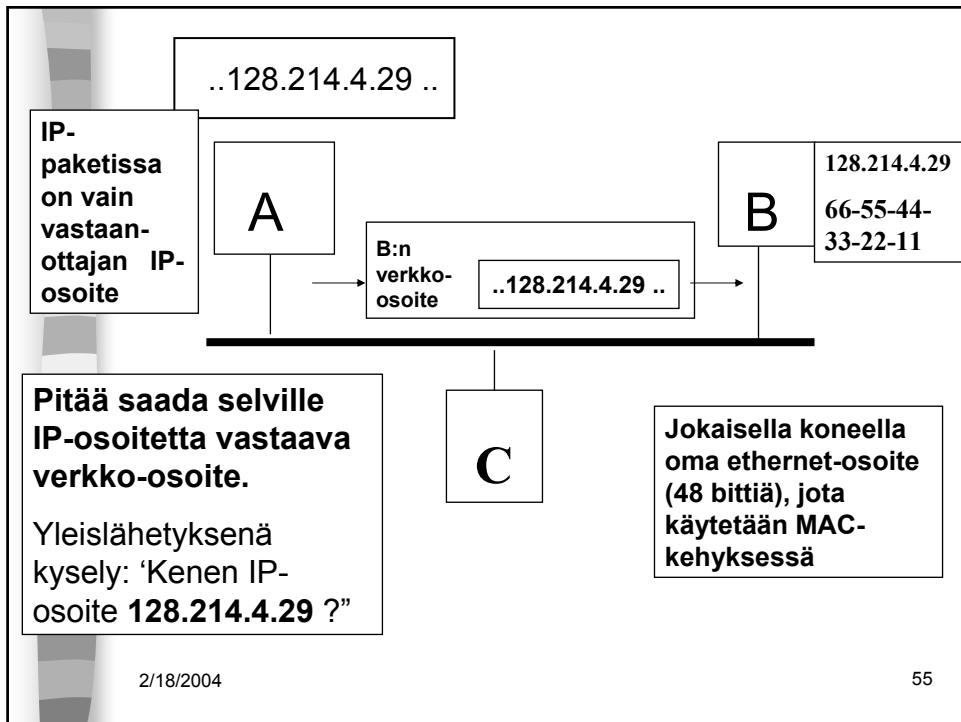
2/18/2004

53



2/18/2004

54

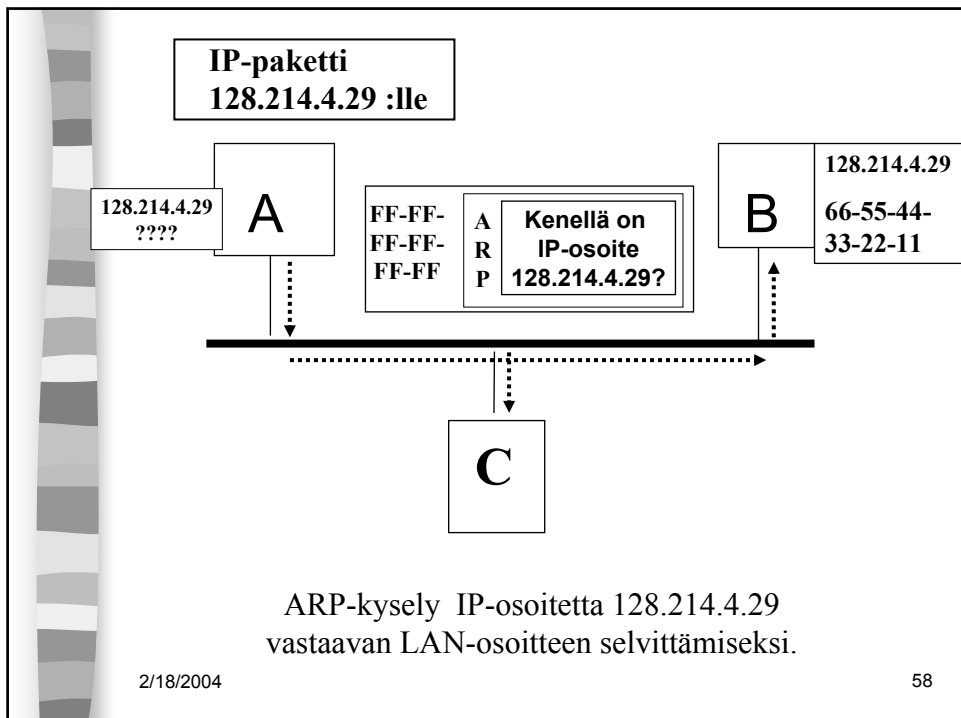


■ Jos A:lla ei ole tietoa ARP-taulussaan, niin A lähettää ARP-kyselyn yleislähettyksenä

- “Kenen IP-osoite on 128.214.4.29?”
- Kone B, joka tunnistaa oman IP-osoitteensa, lähettää A:lle vastauksena ARP-paketin
 - “Koneen 66-55-44-33-22-11 IP-osoite on 128.214.4.29!”
- A lähettää IP-paketin B:n LAN-osoitteella MAC-kehyksessä.

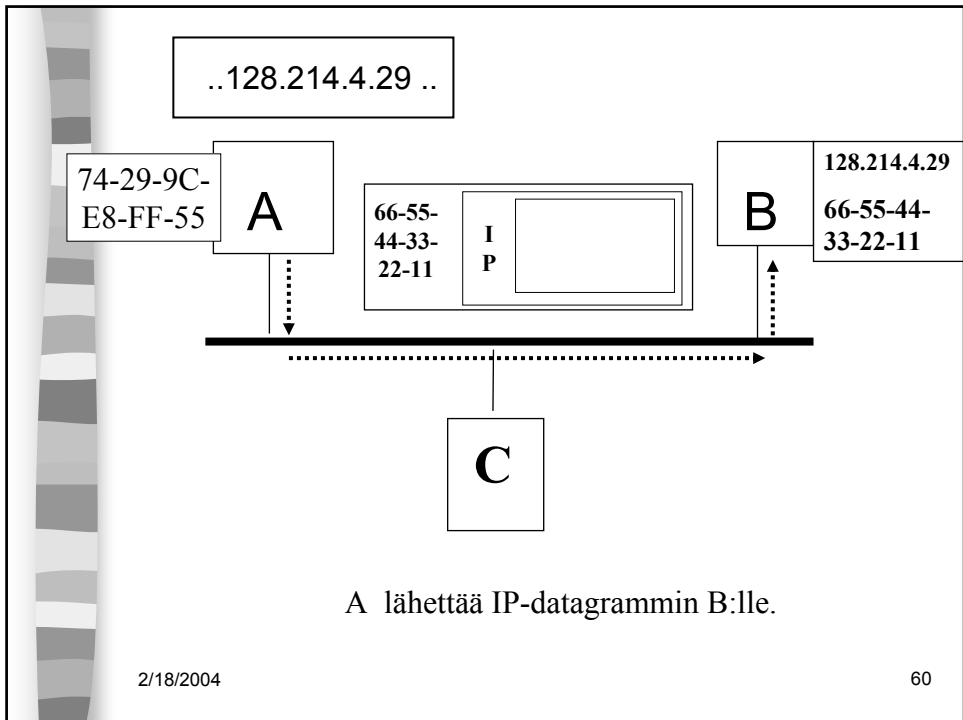
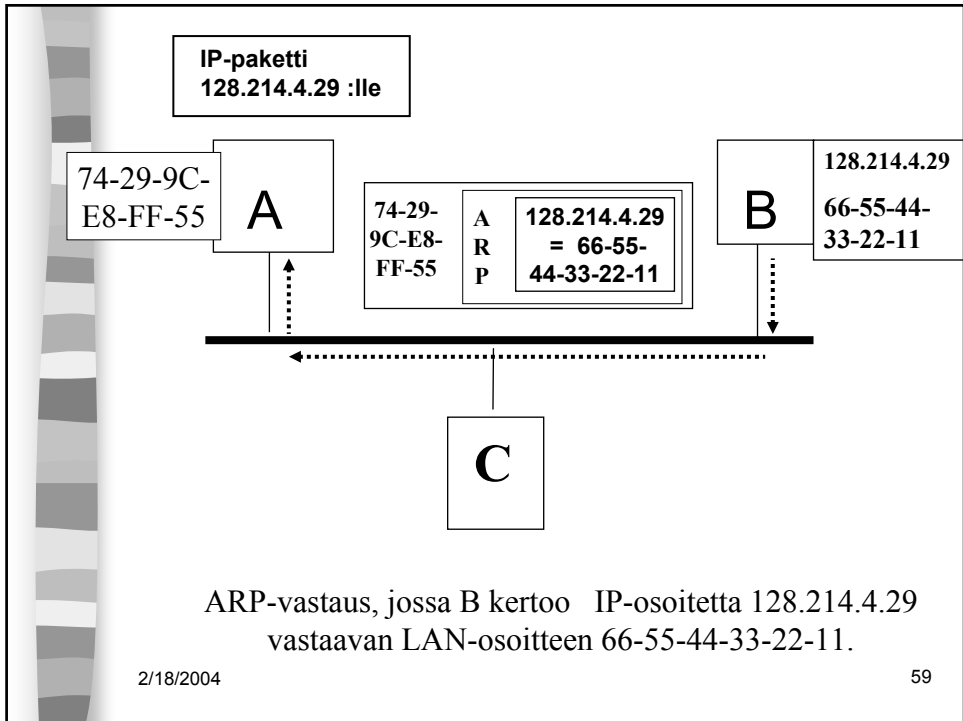
2/18/2004

57



2/18/2004

58





■ optimointia:

- kyselyn tulos välimuistiin
 - talletetaan muutaman minuutin ajan
 - » tyypillisesti 20 minuuttia
- kyselijä liittää omat osoitteensa kyselyyn
- alustettaessa jokainen laite ilmoittaa osoitteensa muille
 - kysyy omaa osoitettaan
 - jos tulee vastaus, niin konfigurointivirhe

2/18/2004

61

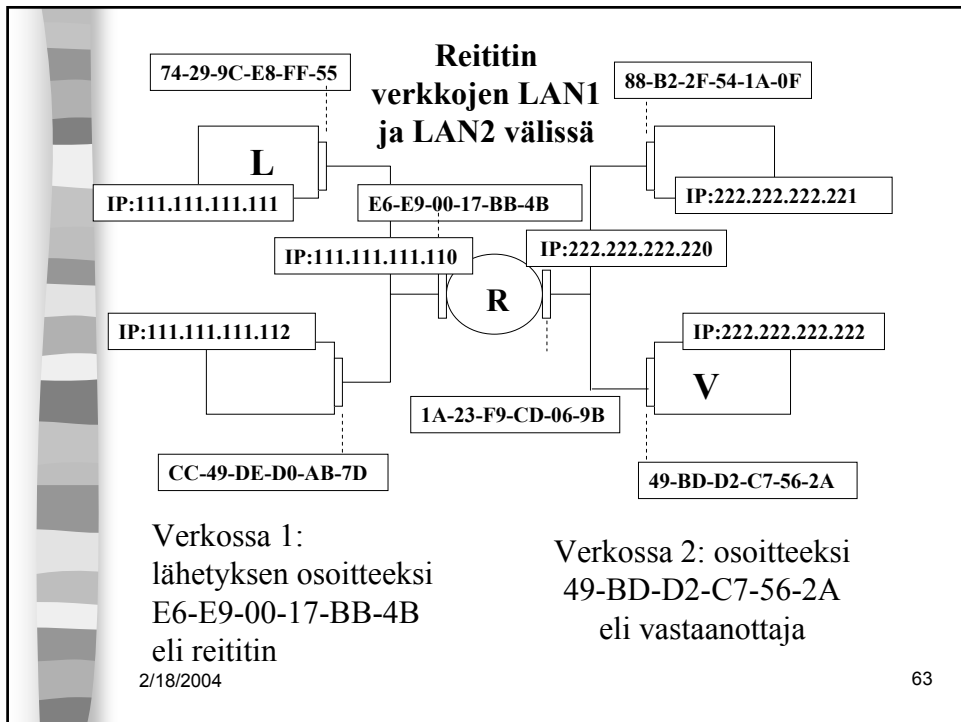


Lähetäminen toiseen IP-verkkoon

- Lähetetään ensin reitittimelle, joka reititystaulustaan tietää, minne porttiin eli mihin sovittimeen datagrammi on ohjattava
 - lähettävässä verkossa LAN-osoitteeksi reitittimen osoite
 - vastaanottavassa verkossa vastaanottavan koneen osoite
- LAN-osoitteet saadaan ARP-protokollan avulla

2/18/2004

62



5.5 Ethernet-lähiverkko

- Yleisin lähiverkkoteknologia
- IEEE:n standardoima LAN-verkko
 - Klassinen Ethernet: CSMA/CD (kuulosteluväylä)
 - Fast Ethernet, Gigabit Ethernet: yleensä kytkentäisiä kaksipisteyhteyksiä
 - 10 Gigabit Ethernet: kaksisuuntaisia, kaksipisteyhteyksiä

■ Muita lähiverkkostandardeja

– esim.

–Token ring (vuororengas)

–FDDI

–WLAN (langaton lähiverkko)

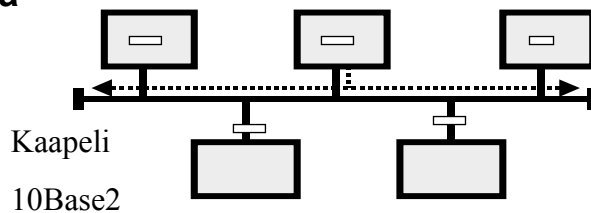
ei käsitellä tällä kurssilla

2/18/2004

65

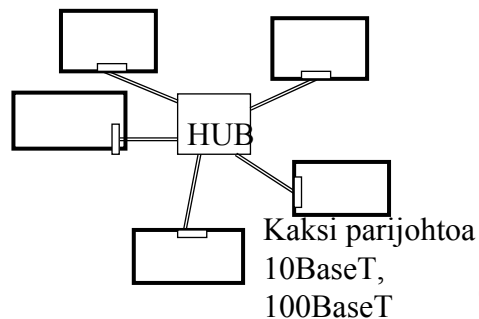
Eetteriverkon rakenne

■ väylä



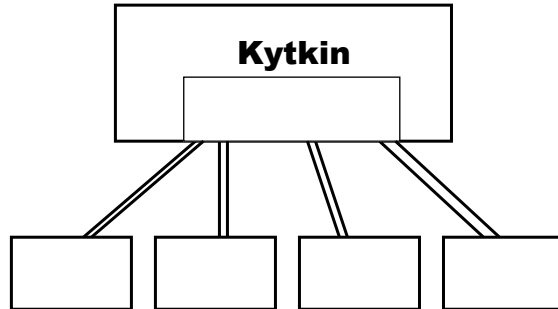
◆ tähti

- hub toimii
toistimen tavoin



2/18/2004

66



**Kytkentäinen,
kaksisuuntainen Ethernet:
Ei törmäyksiä**

2/18/2004

67

Kaapelit

10Base2 ohut kaapeli

- 10 => 10 Mbps
- Base => kantataajuus
- 2 => 200 m

■ 10Base-T kierretty pari & central hub

- helppo hallita, kallis, suosio kasvaa

■ 10Base-F valokaapeli

- kallis, luotettava, tehokas

■ 100Base-T, 100 Base-F

- Fast Ethernet

■ 1000Base-T, 1000Base-X

- Gigabit Ethernet

2/18/2004

68

Lyhyet etäisyydet, pieni määrä laitteita

- **sovittimesta keskittimeen (hub)**
 - maks. 100 m
- **segmentti**
 - pituus maks. < 200 metriä,
 - syynä vaimeneminen
 - solmuja maks. 30 kpl
 - syynä CSMA/CD => liikaa törmäyksiä
 - maks. 5 segmenttiä voidaan yhdistää **toistimilla**
 - => ~1000 m, 150 laitetta
- valokuitua käytettäessä hieman pitemmät etäisyydet

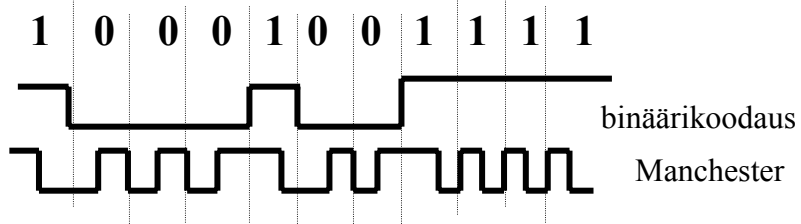
2/18/2004

69

Signaalin koodaus (fyysinen kerros)

■ Manchester-koodaus

- tahdistus
 - ainajännitteen muutos keskellä bittiä
 - 1-bitti ylhäältä alas
 - 0-bitti alhaalta ylös
 - ei kellopulssia
 - mutta lisää kaistanleveyttä



2/18/2004

70

CSMA/CD

- jos väylä vapaa, lähetetään heti
 - muuten jäädään odottaman ja lähetetään heti linjan vapauduttua
- aina kun on lähetetty, jäädään kuuntelemaan, onnistuiko lähetys
- entä kun tapahtuu **törmäys** eli usea samanaikainen lähetys
 - » jännite on suurempi kuin normaalisti
 - keskeytetään lähettäminen ja odotetaan satunnainen aika

2/18/2004

71

Törmäyksen jälkeinen uudelleenlähetys

- **Binary exponential backoff**
 - törmäyksen jälkeen aika jaetaan lokeroiksi
 - 51.2 μ s vastaten 512 bittiä eli 64 tavua
 - 1. törmäyksen jälkeen asema odottaa satunnaisesti joko 0 tai 1 lokeron ajan ennen kuin yrittää uudelleen
 - 2. törmäyksen jälkeen odotus on 0, 1, 2 tai 3 lokeroa
 - n. törmäyksen jälkeen valitaan odotusaika väliltä:
 $0 - (2^{**n}) - 1$ lokeroa
 - 10. törmäyksen jälkeen väliä [0-1023] ei enää kasvateta
 - 16. törmäyksen jälkeen luovutaan ja ilmoitetaan 'asiakkaalle' (eli verkkokerrokselle) epäonnistumisesta

2/18/2004

72

- **binäärinen eksponentiaalinen perääntymien on joustava**
 - kuorma kasvaa eli törmäykset lisääntyvät => väli kasvaa
- **vaihtoehtona kiinteä valintaväli**
 - aina [0- 1023]
 - aina [0-1]
 - aina [a-n]
- **kiinteän välin suorituskyky?**
 - Pitkä väli turhaa odotusta
 - Lyhyt väli turhia törmäyksiä

2/18/2004

73

MAC-protokolla

preamble	Destin. address	Source address	type	data	CRC
8 B	6 B	6 B	2 B	46-1500 B	4 B

Ethernet-kehys

2/18/2004

74

MAC-protokolla:

■ tahdistuskuvio (preamble)

- 7 tavua 1010101010 tahdistusta varten
- kehyksen alku 10101011

■ kohde- ja lähdeosoitteet

- osoitteessa 6 tavua (tai 2 tavua)
- 0xxxxx... yksilöosoite
- 1xxxxx ... ryhmäosoite
- 11111 kaikkia
- yksi bitti: paikallinen vai globaali osoite

2/18/2004

75

■ Type

- kertoo käytetyn verkkoprotokollan tyyppin eli mille protokollalle kehyksen data luovutetaan
 - IP, ARP,
 - joku muu verkkoprotokola: AppleTalk, Novell IPX, ..

■ CRC

- 4 tavua

2/18/2004

76

kehyksen pituus

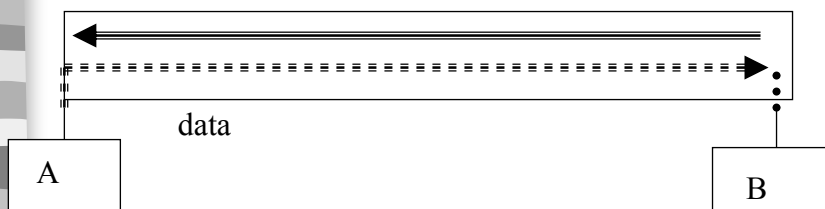
- **64-1500 tavua**
 - kehyksen pituus vähintään 64 tavua
 - tarvittaessa täytettä (PAD)
- **jotta lähettäjä ehtii havaita kehyksen törmäyksen**
 - kehyksen lähetys ei saa päättyä ennen kuin alku on perillä ja mahdollinen törmäysääni kuultu
 - alku perillä => loppukin onnistuu

2/18/2004

77

Väylää kuunneltava

- pahimmassa tapauksessa törmäyssignaali



- => kehyksen lähetyksen minimikesto:
 $2 \cdot \text{etenemisviive väylällä}$

2/18/2004

78



■ 10 Mbps

- LAN-pituus korkeintaan 2500 m
- toistimia korkeintaan 4
- lähetyksen kestettävä ainakin 51.2 μs
- eli 64 tavua

2/18/2004

79



Ethernetin hyvät puolet

- yleisesti käytetty, yhteensopivuus aikaisempien Ethernet-versioiden kanssa
 - yksinkertainen protokolla, kevyellä kuormalla lähetyksiä nolla
 - asemien lisääminen helppoa, hallinta yksinkertaista
 - passiivinen kaapeli, ei modeemia,
 - kukkaron ja tarpeen mukainen toteutus
 - Halpa perusmalli \leftrightarrow huippunopea
 - Hyvin erilaisia teknologioita
- => markkinajohtaja

2/18/2004

80

Klassisen Ethernetin huonot puolet

- analoginen törmäyksen havaitseminen
- pienin kehys 64 tavua
 - => yleisrasitetta, jos sanomat lyhyitä
- epädeterministinen, ei prioriteetteja
- raskas kuorma
 - => törmäyksiä => suoritusteho laskee
- Nopeissa kytketyissä Ethernet-verkoissa ei ole törmäyksiä eikä epädeterministisyyttä

2/18/2004

81

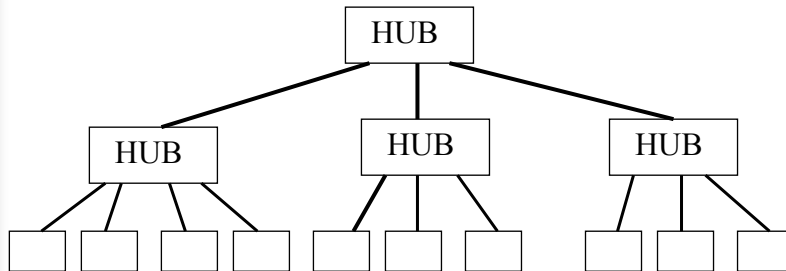
5.6 Keskitin (hub), silta (bridge) ja kytkin (switch)

- LAN-verkkojen yhdistäminen
 - **keskittimillä** (hub)
 - toistin, toimii perustasolla, käsittelee bittejä
 - lähettää vastaanottamansa bitit kaikille muille
 - yhteinen **törmäysalue** => vain pieniin verkkoihin
 - vain samanlaisiin verkkoihin
 - **Silloilla** (bridge) ja **kytkimillä** (switch)
 - linkkitason olioita
 - voivat **periaatteessa** yhdistää myös erilaisia verkkoja
 - mitä erilaisempia sen hankalampaa

2/18/2004

82

Yhdistäminen keskittimillä



Yhteinen törmäysalue: vain yksi koneista voi samaan aikaan lähettää. Jos usea lähettää, tuloksena törmäys.

2/18/2004

83

Keskitinyhdistämisen

■ Etuja


- voidaan yhdistää eri osastojen lähiverkot
- suuremmat etäisyydet
- rajoitetummat vikatilanteet

■ Haittoja

- sama kapasiteetti jaetaan useammalle
- teknologialtaan erilaisia verkkoja ei voida yhdistää
- vain rajallinen määrä laitteita

2/18/2004

84



SILTA (Tuntumaton silta)

(transparent bridge, spanning tree bridge)

■ tavoitteena tuntumattomuus

- 'plug and play'
 - ei mitään muutoksia laitteistoon, ohjelmistoon
 - ei reititystaulujen ja parametrien asettelua
 - ei vaikuta itse LANien toimintaan

■ tuntumaton silta

- vastaanottaa kaikki siihen kytketyiltä LANeilta tulevat kehykset
- joko hylkää tai ohjaa edelleen

2/18/2004

85



■ Tuntumaton silta

- tekee itse kaikki ohjausratkaisut
- silta alustaa itse itsensä
- silta sopeutuu dynaamisesti verkon muutoksiin

■ eri LANeista voi tulla sanomia yhtäaikaan

- talletetaan puskureihin

■ edelleen lähetettävistä sanomista valmistetaan niiden kohdeverkkoa vastaava kehys

2/18/2004

86

Sillan portit

■ Lähiverkko liitetään siltaan **siltaportin** kautta

- yksinkertaisissa silloissa vain kaksi porttia
- monipuolisissa useita => kytkimiä (switch)

■ Portti

- MAC-piiri
 - noudattaa lähiverkon protokollaa
 - esim. CSMA/CD
- ohjelmisto
 - huolehtii alustuksesta
 - puskurin hallinnasta

2/18/2004

87

Silta ohjaa kehukset toisiin LANeihin

■ siltojen siltataulut

Jokaisella koneella oma yksikäsitteinen osoite = LAN-osoite

Sillalla itsellään ei ole LAN-osoitetta

Laite-osoite Portti

A	1
B	1
C	2
D	2
F	2

Silta B1

Laite-osoite Portti

B	1
C	1
D	2
H	3

Silta B2

2/18/2004

88

Siltataulut

- Alkutilanteessa kaikkien siltojen siltataulut ovat tyhjiä.
- Siltataulua päivitetään aina, kun kehys saapuu.
- Vanhentuneet tiedot poistetaan.
 - ajastin laukeaa

2/18/2004

89


Silta käsittelee kaikki kehykset:

Kehys: lähdeLAN X; kohdeLAN Y; tuloportti p;

- Lähde ja kohde siltataulussa
 - X ja Y samassa **portissa** => hylkää kehys
 - X ja Y eri **porteissa** => lähetä eteenpäin
 - päivitä X, p
- Lähde ei taulussa
 - lisää X, p, aika => silta oppii (**backward learning**)
- Kohde ei taulussa
 - lähetä Y kaikista muista porteista => tulvitus
 - päivitä X, p

2/18/2004

90



Tulvitus (flooding)

- tulvitus on ongelma

- sanomat jäävät kiertämään silmukoissa
- koko verkko tukkeutuu

- **siis silmukoita ei saa muodostua!**

- eli verkon loogisen rakenteen pitää olla puu
- muodostetaan verkolle ns. **virittävä puu** (spanning tree)

2/18/2004

91



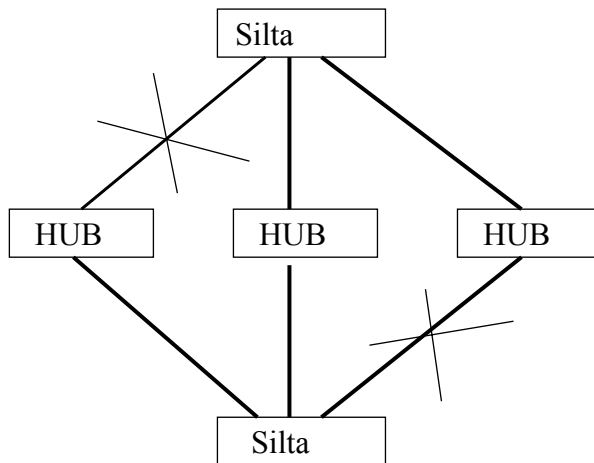
Virittävä puu

- sillat muodostavat ja ylläpitävät

- valitse juuri
 - silta, jolla pienin sarjanumero
- valitse kustakin sillasta/ LAN:ista lyhin reitti juureen
 - => **virittävä puu**
 - muut sillat jäävät käyttämättä
- tulvitus vain **virittävän puun siltoja pitkin**

2/18/2004

92



2/18/2004

93

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

2/18/2004

94




Siltojen haitat

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

2/18/2004

95



Kytkin (switch)

- Erittäin suorituskykyisiä, moniporttisia siltoja
 - silloissa muutamia portteja
 - kytkimissä kymmeniä portteja (liitäntöjä)
 - portit voivat olla erinopeuksisia
 - kaksisuuntainen lähetys (full-duplex)
 - verkonhallintapiirteitä, **suorakytkentä** (cut-through)
- Koneet voidaan liittää suoraan kytkimeen
 - kukin kone voi lähettää täydellä nopeudella
 - ei törmäyksiä!

2/18/2004

96

Erittäin nopeat lähiverkot

(High-speed LANs)

- nopeus >> 10 Mbps, 100 Mbps - 10 Gbps
- eri ratkaisuja
 - **Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet**
 - FDDI, HIPPI, WLAN, atm, jne
 - Näitä ei käsitellä kurssilla tarkemmin!

2/18/2004

97

5.7. PPP-protokolla

- Linkkitason protokollia on useita
 - **HDLC** (High-level Data Link Control)
 - useita, enemmän tai vähemmän toisistaan poikkeavia yhteensopimattomia versioita
 - ei käsitellä kurssilla
 - **PPP** (Point-to-Point Protocol)
 - soittoyhteys modeemin tai ISDN:n kautta tietokoneeseen
 - yleisimmin käytettyjä linkkiprotokollia

2/18/2004

98

LLC (Logical Link Control)

- **Erlaisia LAN-verkkoja**
- **vuonvalvonta, virhevalvonta, yhtenäinen rajapinta erilaisiin verkkoihin**
 - ~ OSI-malli, HDLC
- **Palvelut:**
 - epäluotettava datasähkepalvelu,
 - kuittaava datasähkepalvelu,
 - luotettava yhteydellinen palvelu

verkkokerros
LLC
MAC
peruskerros

2/18/2004

99

PPP (Point-to-Point Protocol)

- **IETF:n (Internet Engineering Task Force) vaatimuksia**
 - hyvin toimiva kehystys
 - kehysten virhetarkistus (virheellinen kehys tuhotaan!)
 - havaitsee, jos yhteys ei toimi ja ilmoittaa tästä verkkokerrokselle
 - useat verkkokerroksen protokollat voivat käyttää
 - verkko-osoitteista sopiminen: mm. IP-osoitteet neuvoteltavissa yhteyden muodostuksen aikana
 - autentisointi mahdollista
 - ei vuonvalvontaa

2/18/2004

100

PPP-kehys

Tavuja 1 1 1 1-2 vaihtelee 2-4 1

01111110	osoite	kontrolli	protokolla	data	CRC	01111110
----------	--------	-----------	------------	------	-----	----------

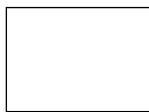
- lipputavu 01111110,
 - tavunlisäys (byte stuffing) DLE = 01111101
- osoitekenttä aina 11111111 (=yleislähetys)
- kontrollikenttä aina 00000011
 - osoite- ja kontrollikenttä voidaan jättää kokonaan pois
- protokolla: mille protokollalle data on tarkoitettu
 - esim. IP, IP:n Control Protocol, PPP:n Link Control Protocol
- data: sisältää ylemmälle protokollalle tarkoitettua dataa
 - maksimi sovitaan, oletusmaksimi 1500 tavua
- CRC: tarkistusbitit;

Tavunlisäys

Jos datassa on lipputavu 01111110 ?

... 01111110...

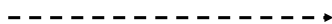
... 01111110....



Lisätään eteen DLE-tavu = 01111101



... 011111100111101 ...



Siirron ajaksi!

Entä, jos datassa on ..0111101 ...?

■ LCP (Link Control Protocol)

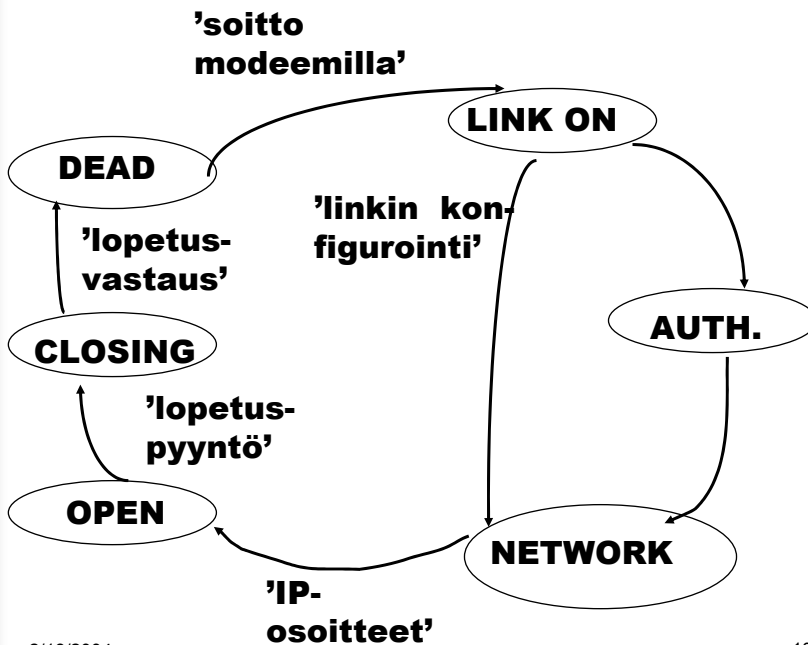
- muodostaa ja testaa linjayhteyksiä
- neuvottelee yhdeyden ominaisuuksista
- purkaa yhteyden, kun sitä ei enää tarvita
- vrt. TCP-yhteys

■ NCP (Network Control Protocol)

- neuvottelee verkkokerroksen optioista
- oma NCP kullekin verkkoprotokollalle
- TCP/IP: tärkein tehtävä IP-osoitteen antaminen päätteelle dynaamisesti

2/18/2004

103



2/18/2004

104

Yhteydenotto PPP:llä

- **soitto modeemilla reitittimeen**
 - fyysinen yhteys
- **PPP-parametrien valinta**
 - LCP-paketteja vaihtamalla
- **verkkokerroksen konfigurointi**
 - TCP/IP: IP-osoitteen antaminen PC:lle
 - PC => tilapäinen Internet isäntäkone
- **PC voi lähettää ja vastaanottaa tavallisen isäntäkoneen tapaan**

2/18/2004

105

Yhteyden purku

- **NCP purkaa verkkoyhteyden ja vapauttaa IP-osoitteen**
- **LCP purkaa siirtoyhteyserroksen**

2/18/2004

106

Linjayhteyden muodostus

- **Dead**
 - ei kantaaltoa, ei peruskerroksen yhteyttä
- **Link (Established)**
 - peruskerroksen yhteys muodostettu
 - sovitaan LPC-optioista
- **Authenticate**
 - osapuolet varmistuvat toistensa identiteetistä
- **Network**
 - NCP konfiguroi verkkokerroksen

2/18/2004

107

- **Open**
 - tiedonsiirto voi alkaa
- **Closing**
 - kun tiedonsiirto suoritettu => lopetustilaan
 - tästä palataan alkutilaan lopettamalla kantaaltoa

2/18/2004

108

LPC-pakettityypit

■ optioista ja niiden arvoista sopiminen

– Configure-

- request ehdotettuja optioita ja arvoja
- ack kaikki hyväksytään
- nak optioita, joita ei voida hyväksyä
- reject optioita, joista ei voida neuvotella

2/18/2004

109

■ linjan sulkeminen

– Terminate-

- request linjan sulkemispyyntö
- ack OK, linja suljetaan

2/18/2004

110



■ tuntemattomat sanomat

- Code-reject tuntematon pyyntö
- Protocol-reject tuntematon protokolla

■ linjan testaus

- Echo-request palauta tämä kehys
- Echo-reply tässä kehys takaisin
- Discard-request hylkää tämä testisanoma

2/18/2004

111



Yhteenveto:

- **Sovelluskerros: sovelluksen tarpeet**
 - HTTP, DNS, SMTP
- **Kuljetuskerros: sanomien kuljetus prosessien välillä luotettavasti**
 - TCP: virheet, vuon- ja ruuhkanvalvonta;
 - UDP
- **Verkkokerros: reititys koneiden välillä**
 - IP, osoitteet, reititysprotokollat, reititin
- **Siirtoyhteyskerros: kahden solmun välillä**
 - MAC: CSMA/CD, CDMA; PPP
 - Ethernet, silta

2/18/2004

112

