

5. Siirtoyhteyskerros

linkkikerros (Data Link Layer)

- yhtenäinen linkki solmusta solmuun

- bitit sisään => bitit ulos

- ongelmia:

- siirtovirheet

- havaitseminen
- korjaaminen

- solmun kapasiteetti

- vuonvalvonta

- yhteisen kanavan käyttö



12/4/2002

1

Kehysten kuljetus

- tavoite

- kaikki kehykset
- kukin kehys virheettömästi
- lähetyssjärjetyksessä

- vastaanottaja kertoo lähettäjälle

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

12/4/2002

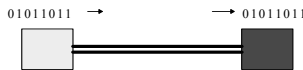
4

5.1. Kaksipisteyhteydet

Virhevalvonta

- * virheiden havaitseminen
- * virheiden korjaus

Vuonvalvonta



12/4/2002

2

Virheet

- Kahdenlaisia virheitä:

- yhden bitin virheet
- usean peräkkäisen bitin vääristyminen (burst error)

- Virheiden esiintymistiheys

- BER (bit error rate)
- mitä suurempi BER, sitä lyhyempiä kehyksiä kannattaa käyttää

12/4/2002

5

Bittivirta <=>kehyksiä

- tavoite

- bittivirheiden hallinta
 - muuttuu
 - katoaa
 - monistuu

- bittivirta kehyksinä

- kehys tarkistettavissa
 - tarkistustietoa

12/4/2002

3

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

12/4/2002

6

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 uudelleenlähetyt

12/4/2002

7

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

12/4/2002

10

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
 - uudelleen lähettäminen on hidasta

12/4/2002

8

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
- **paljastaa kaikki yhden bitin virheet**
 - kehyksen pituudesta riippumatta
- **ei paljasta kahden bitin virheitä**

12/4/2002

11

Virheen korjaus

- Käytetään esim.
 - CD- ja DVD-levyissä, digitaali-televisiossa
 - nopeissa modeemeissa, kannettavissa puhelimissa
 - satelliittiyhteyksissä, avaruusluotaimissa
- **Esimerkkejä**
 - Hamming-pariteettitarkistus (Tito-kurssilla)
 - pystyy korjaamaan yhden virheellisen bitin
 - virheryöpy, jos se jaetaan yhden bitin virheiksi
 - Reed-Solomon -koodit
 - lohkokodeja, jotka pystyvät korjaamaan virheryöppyjä

12/4/2002

9

Pariteettibitin käyttö

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

12/4/2002

12

Horizontaaliset ja vertikaaliset pariteetit

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

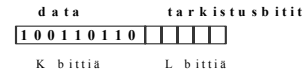
1001010		1	
0111010		0	
1110001		0	horizontaaliset
1000111		0	pariteetit
0011001		1	
1011111		0	taulukon
			pariteetti
			vertikaaliset

12/4/2002

13

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 kehyks (data + tarkistusbitit) pysynyt muuttumattomana



12/4/2002

16

Virheiden havaitseminen

- Ei löydä lyhyitä virheryöppyjä, joissa neljä bittä vaihtuu sopivasti



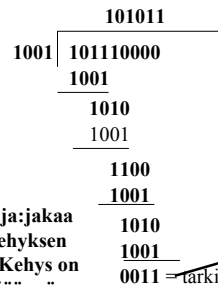
12/4/2002

14

Esimerkki: data = 101110, virittäjä = 1001,

(polynomina $X^{*3} + 1$), tarkistusbittejä 3

Lähetettävä data = 101110??? tarkistusbitit



Modulo 2-
aritmetiikka:

1+1 = 0 (XOR)

Lähetetään: 101110 011

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

12/4/2002

18

Internetin tarkistussumma

- lasketaan 16-bittisten sanojen yhden komplementit yhteen
- otetaan summasta yhden komplementti
- käytetään Internet-protokollissa
 - UDP- ja TCP -protokollissa
- monia virhekombinaatioita jää havaitsematta
- riittävän hyvä, jos virheitä vähän

12/4/2002

15

Standardoituja virittäjäpolynomeja

- CRC-12 = $x^{*12} + x^{*11} + x^{*3} + x^{*2} + x + 1$
- CRC-16 = $x^{*16} + x^{*15} + x^{*2} + 1$
- 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{ryöppy > 33 havaitaan} = 0.9999999998

– Huom

- › Arvioinneissa lähtökohdana ollut täysin satunnainen bittien jakautuminen, mutta todellisuudessa näin ei ole!
- › Joten havaitsemattomien virheiden määrä on arvioitua suurempi.

12/4/2002

18

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**

12/4/2002

19

Eri yhteiskäyttötapoja on hyvin paljon:

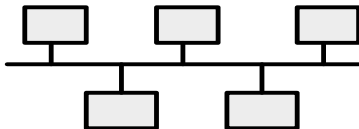
- **kilpailu** Aloha, CSMA, **CSMA/CD**
 - 'se ottaa kun ehtii'
- **vuorotellen:** pollaus, vuoromerkki
 - 'sinä ensin ja sitten on minun vuoroni'
- **varaus:** vuorot varataan etukäteen
 - varaukseen käytetään usein kilpailua
- **kanava jaetaan:** TDMA, FDMA, **CDMA**
 - 'käytä sinä tätä puolta ja minä tätä toista'

12/4/2002

22

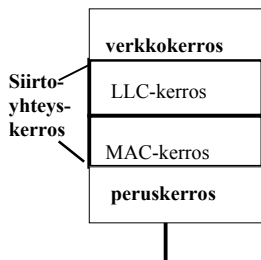
5.3. Yhteiskäyttöinen kanava

- **yleislähetys (broadcast)**
 - » **multiaccess channel**
 - » **random access channel**
 - LAN (Ethernet)
 - langaton
- **ongelma:** käyttövuoron 'jakelu'



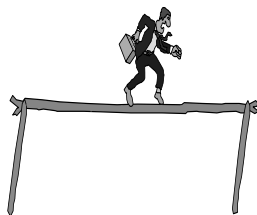
Törmäys

- **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



MAC = Medium Access Control

LLC = Logical Link Control



Aika

- **jatkuva aika**
 - lähetykset voivat alkaa milloin vain
 - ei mitään synkronointi, ei yhteistä aikaa
- **viipaloitu aika** (slotted time)
 - aika lokeroitu aikaviipaleiksi
 - lähetys voi alkaa vain aikaviipaleen alussa
 - aikaviipaleessa
 - ei kukaan lähetä => hukkaan
 - yksi lähetys => ok
 - useita lähetyksiä => törmäys
 - vähentää törmäyksiin (=hukkaan) menevää aikaa
 - törmäykset täydellisiä

Lähetyskanavan kuuntelu (carrier sense)

- käynnissä olevan lähetysten 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. satelliitilähetykset

ALOHA

- **Hawaiilla, 70-luvulla radiotietä varten**
- **puhdas ALOHA:**
 - asema lähettää aina, kun sillä on lähetettävää
 - ja samalla kuuntelee, onnistuiko lähetys
 - lähiverkossa törmäys havaitaan 'heti', sillä siirtoviive pieni
 - toisin satelliitilla!
 - jos törmäys, niin lähettäjä odottaa satunnaisen ajan ja yrittää uudelleen
 - maksimaalinen tehokkuus ~18%

Kanavan kuuntelu

- ei aina paljasta jo alkanutta lähetystä
 - etenemisviiveen takia
- tai ole järkevää
 - esim. satelliittikanavan kuuntelu ei paljasta sitä, onko joku toinen maasema jo aloittanut lähetysten
 - langattomassa lähiverkossa lähettäjän ympäristön kuuntelu ei kerro sitä, onko vastaanottaja saamassa sanomia muualta

12/4/2002

26

Viipaloitu 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

Yleislähetysprotokollia

Esimerkkejä:

- **CSMA/CD** (Aloha, CSMA)
 - mm. Ethernet-verkossa käytetty kilpailuprotokolla
- **CDMA**
 - radiolinjoilla käytetty koodinjakoon perustuva protokolla

12/4/2002

27

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 siirtoviiveen vuoksi havaitse toista lähetystä
 - ongelma, jos siirtoviive on pitkä

CSMA-protokollat

- Useita versioita, jotka hieman eroavat toisistaan
 - miten toimitaan, kun kanava varattu?
 - jäädytään odottamaan ja lähetetään heti kanavan vapauduttua => jos useita odottajia, tulee varmasti törmäys
 - luovutaan ja yritetään uudestaan satunnaisen ajan kuluttua => hukkaa lähetyksivuoroja
 - viipaloitu aika vai ei?
 - vaikka kanava on vapaa, ei silti aina lähetetä
 - lähetyks vapaille väylälle todennäköisyydellä p!

Vuorotteluprotokollat

- 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 lähettävää, se siirtää vuoromerkin seuraavalle

12/4/2002

34

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 lähetyks
 - => yritetään uudestaan satunnaisen ajan kuluttua

12/4/2002

32

Kanavan jakoprotokollat

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

Varausprotokollat

- ei törmäyksiä!
- lähetyksvuorot varataan etukäteen
- varausvaihe
 - usein kilpaillaan varauksista
 - törmäyksiä, mutta vähän
- lähetyksvaihe
 - kaikki varanneet lähettävät sanomansa
- hyvin paljon erilaisia versioita
 - etenkin satelliittiyhteyksille

CDMA (Code Division Multiple Access)

- yksi kanava
 - usea samanaikainen lähetyks
 - kukin koko kanavan taajuudella!
- yhden bitin lähetyksaika jaetaan pienempiin osiin (aikasiruihin)
 - » 64 tai 128 sirua bittii kohden
- kullakin asemalla oma 'sirukuvio' 1-bitin lähetykseseen
 - » (0-bitti on tämän yhden komplementti)

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

Esimerkki

- » merkintä 1 = 1, 0 = -1,
- » helpompi laskea yhteen
- $S = (-2 -2 0 -2 0 -2 4 0)$
- $C = (-1 1 -1 1 1 1 -1 -1)$
- $S \bullet C = (2 -2 0 -2 0 -2 -4 0)$
 $= -8 \Rightarrow -1$
- eli C lähetti 0-bitin

12/4/2002

40

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

12/4/2002

38

5.5 Ethernet-lähiverkko

- Yleisin lähiverkkoteknologia
 - IEEE:n standardoima LAN-verkko
– CSMA/CD (kuulosteluväylä)
 - Muita lähiverkkostandardeja
– esim.
 - Token ring (vuororengas)
 - FDDI
 - WLAN (langaton lähiverkko)
- ei käsitellä tällä kursilla

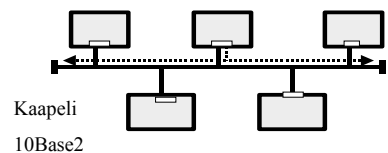
- kukin asema lähettää omat 1-bittinsä ja 0-bittinsä
- kun moni lähettää samanaikaisesti tuloksena on yhteissignaali S.
 - » lähetettyjen signaalien 'summa'
- aseman datan 'purkaminen' yhteissignaalista
 - » $A =$ aseman oma bittikuvio
 - » $S \bullet A$ tuottaa aseman lähettämän bitin
 - kerrottuna bitin aikasirujen lukumäärällä

12/4/2002

39

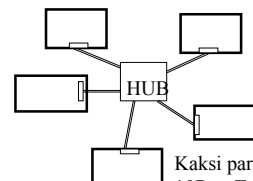
Eetteriverkon rakenne

- väylä



- ◆ tähti

- hub toimii
toistimen tavoin



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

CSMA/CD

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

12/4/2002

46

Lyhyet etäisyydet, pieni määrä laitteita

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

12/4/2002

44

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

Signaalin koodaus

• Manchester-koodaus

- tahdistus
 - » jännitteen muutos keskellä bittiä
 - ei kellopulsseja
 - mutta lisää kaistanleveyttä

12/4/2002

45

• binäärinen eksponentiaalinen perääntymien on joustava

- kuorma kasvaa => väli kasvaa
- vaihtoehtona kiinteä valintaväli
 - » aina [0- 1023]
 - » aina [0-1]
 - » aina [a-n]
- entä suorituskyky?

12/4/2002

48

Ethernet-kehys

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

12/4/2002

49

kehiksen 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 kuuluu
 - alku perillä => loppukin onnistuu

12/4/2002

52

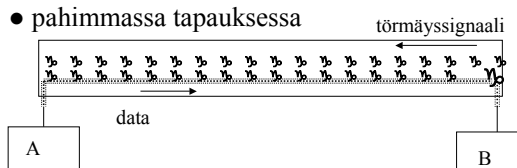
MAC-protokolla

- tahdistuskuvio (preamble)
 - » 7 tavua 10101010 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

12/4/2002

50

Väylää kuunneltava

- pahimmassa tapauksessa
 - » kehyksen lähetys minimikesto:
 - 2*etenemisviive väylällä

12/4/2002

53

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

12/4/2002

51

- 10 Mbps
 - LAN-pituus korkeintaan 2500 m
 - toistimia korkeintaan 4
 - lähetys kestettävä ainakin 51.2 μ s
 - eli 64 tavua

12/4/2002

54

Ethernetin hyvät puolet

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

12/4/2002

55

LAN-osoitteet ja ARP

- (lähi)verkko-osoite
 - fyysinen osoite
 - MAC-osoite
- Eetteriverkossa (sovitinkortissa)
 - 48 bittiä
 - joka kortissa oma ainutkertainen pysyvä numero
- lähiverkkoon liitetyt laitteet ymmärtävät vain LAN-osoitteita

12/4/2002

58

Ethernetin huonot puolet

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

12/4/2002

56

IP-osoite => LAN-osoitteeksi

- ARP-taulu
 - IP-osoitteiden muuttamiseksi LAN-osoitteiksi
 - » IP-osoite, sitä vastaava LAN-osoite, aikaleima
 - vanhentuneet tiedot katoavat taulusta
- Entä, jos IP-osoitetta ei ole taulussa?
 - Sovelluserroksella DNS, jolta kysyttiin.
 - LAN:ssa kaikki asemat yleensä kuulevat kaikki lähetykset (yleislähetys).
 - Hyödynnetään tätä ominaisuutta!

12/4/2002

59

LLC (Logical Link Control)

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

verkkokerros
LLC
MAC
peruserkerros

12/4/2002

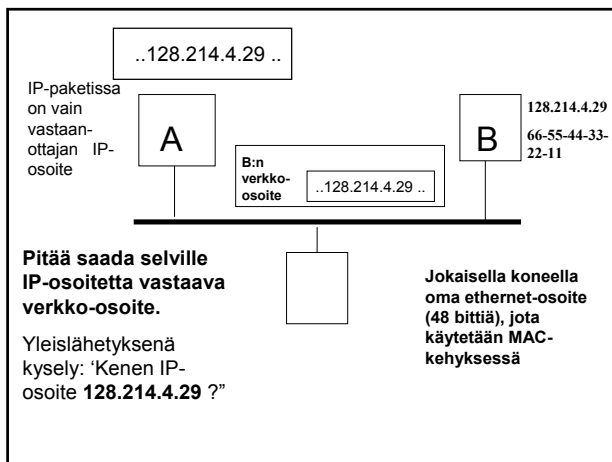
57

ARP-protokolla (Address Resolution Protocol)

- IP-kerroksen protokolla, jolla selvitetään IP-osoitetta vastaava siirtoyhteyserroksen osoite
 - » esim. eetteriverkon 48-bittisiä osoitteita
- yleislähetys lähiverkkoon
 - “Kenellä on IP-osoite vv.xx.yy.zz ?”
 - vastauksena osoitteen omistavan laitteen lähiverkko-osoite
 - » ARP-paketteja: kysely ja vastaus

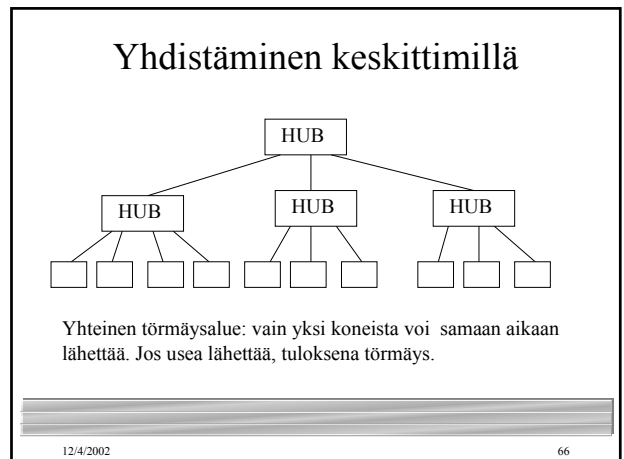
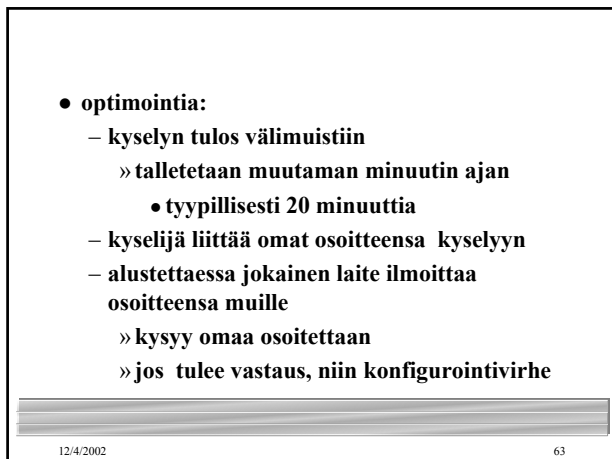
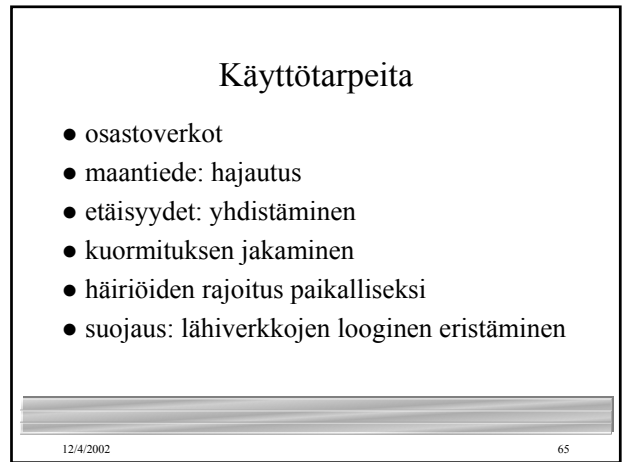
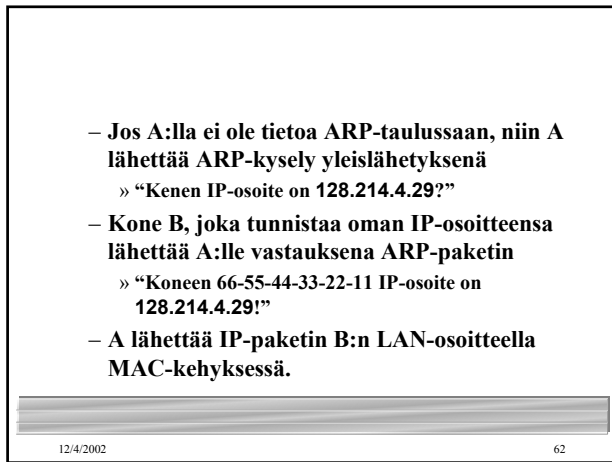
12/4/2002

60



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 ja kytkimillä
 - » linkkitason olioita
 - » voivat **periaatteessa** yhdistää myös erilaisia verkkoja
 - mitä erilaisempia sen hankalampaa



Keskitynyhdistämisen

- 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

12/4/2002

67

Sillan portit

- Lähiverkko liitetään siltaan **portin** kautta
 - yksinkertaisissa silloissa vain kaksi porttia
 - monipuolisissa useita => kytkimiä (switch)
- Portti
 - MAC-piiri
 - noudattaa lähiverkon protokollaa
 - esim. CSMA/CD
 - ohjelmisto
 - huolehtii alustuksesta
 - puskurin hallinnasta

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

12/4/2002

68

Sillat ohjaavat kehykset toisiin LANeihin

- siltojen siltataulut

	laite-osoite	portti		Laite-osoite	portti
	A	1		B	1
	B	1		C	1
	C	2		D	2
	D	2		H	3
	F	2			

Jokaisella laitteella oma yksikäsitteinen osoite

Silta B1

Silta B2

- 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

12/4/2002

69

Siltataulut

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

12/4/2002

72

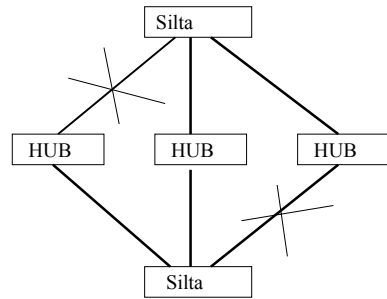
Silta käsittelee kaikki kehykset:

Kehys: lähdeLAN X; kohdeLAN Y; tuloportti I;

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

12/4/2002

73



12/4/2002

76

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)

12/4/2002

74

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

12/4/2002

77

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**

12/4/2002

75

Siltojen haitat

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

12/4/2002

78

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!

12/4/2002

79

PPP (Point-to-Point Protocol)

- IETF:n 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

12/4/2002

82

Erittäin nopeat lähiverkot (High-speed LANs)

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

12/4/2002

80

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 ylempälle protokollalle tarkoitettua dataa
 - maksimi sovitaan, oletusmaksimi 1500 tavua
- CRC: tarkistusbitit;

5.8. PPP-protokolla

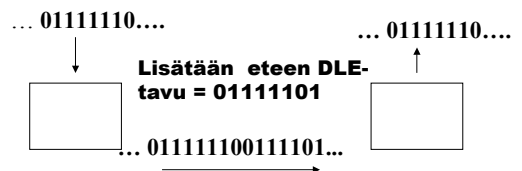
- Linkkitason protokollia on useita
 - HDLC (High-level Data Link Control)
 - useita, enemmän tai vähemmän toisistaan poikkeavia yhteensopimattomia versioita
 - ei käsitellä kurssilla
 - PPP (Point-to-Point Protocol)
 - soittoyhteys modeemin tai ISDN:n kautta tietokoneeseen
 - yleisimmin käytettyjä linkkiprotokollia

12/4/2002

81

Tavunlisäys

jos datassa on lipputavu 01111110 ?



Entä, jos datassa on ..0111101 ...?

12/4/2002

84

- **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

12/4/2002

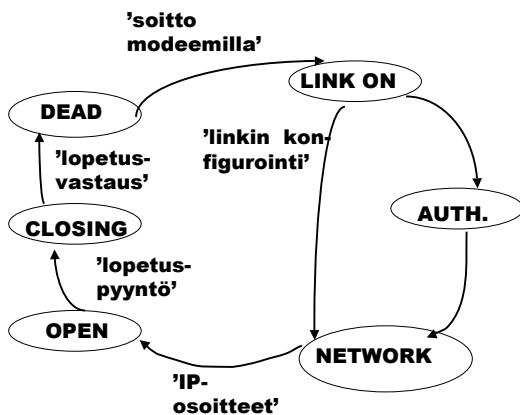
85

Yhteyden purku

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

12/4/2002

88



Linjayhteyden muodostus

- Dead
 - » ei kantoaaltoa, ei peruserroksen yhteyttä
- Link (Established)
 - » peruserroksen yhteys muodostettu
 - » sovitaan LPC-optioista
- Authenticate
 - » osapuolet varmistuvat toistensa identiteetistä
- Network
 - » NCP konfiguroi verkkokerroksen

12/4/2002

89

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

12/4/2002

87

- Open

- » tiedonsiirto voi alkaa

- Closing

- » kun tiedonsiirto suoritettu => lopetustilaan
- » tästä palataan alkutilaan lopettamalla kantoaalto

12/4/2002

90

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

- linjan sulkeminen

- Terminate-

- » request linjan sulkemispyyntö
- » ack OK, linja suljetaan

Kiitos kestävyydestä!



- 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

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
- Siirtoyhteyserros: kahden solmun välillä
 - MAC: CSMA/CD, CDMA; PPP
 - Ethernet, silta