

5. Siirtoyhteyskerros

linkkikerros (Data Link Layer)

- yhtenäinen linkki solmusta solmuun

- bitit sisään => bitit ulos



- ongelmia:

- siirtovirheet

- havaitseminen

- korjaaminen

- solmun kapasiteetti

- vuonvalvonta

- yhteisen kanavan käyttö

23.4.2002

1

5.1. Kaksipisteyhteydet

Virhevalvonta

- * virheiden havaitseminen

- * virheiden korjaus

Vuonvalvonta



23.4.2002

2

Bittivirta <=>kehyksiä

- tavoite

- bittivirheiden hallinta

- muuttuu

- katoaa

- monistuu

- bittivirta kehyksinä

- kehys tarkistettavissa

- tarkistustietoa

23.4.2002

3

Kehysten kuljetus

- tavoite

- kaikki kehykset

- kukin kehys virheettömästi

- lähetyjärjestyksessä

- 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

23.4.2002

4

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

23.4.2002

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

23.4.2002

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 uudelleenlähetyks

23.4.2002

7

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

23.4.2002

8

Virheen korjaus

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

23.4.2002

9

Virheen havaitseminen

- Pariteettibitti
 - parillinen pariteetti
 - pariton pariteetti
- horisontaaliset 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

23.4.2002

10

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

23.4.2002

11

Pariteettibitin käyttö

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

23.4.2002

12

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	
1011111		0	taulukon pariteetti
			vertikaaliset
			pariteetit

23.4.2002

13

Virheiden havaitseminen

- Ei löydy lyhyitä virheryöppyjä, joissa neljä bittä vaihtuu sopivasti

1001010
0111010
1100001
1000111
0011001
1000111
0011001

23.4.2002

14

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

23.4.2002

15

CRC:n perusidea

- tarkistusavain (virittäjä, virittäjäpolynomi)

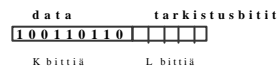
- bittejä yksi enemmän kuin tarkistusbittejä
- lähettäjä ja vastaanottaja tuntevat

- lähettäjä

- laskee lähetettävälle datalle tarkistusavaimen avulla tarkistusbitit ja liittää ne kehykseen

- vastaanottaja

- tarkistaa, onko koko saapunut kehys (data + tarkistusbitit) pysynyt muuttumattomana



23.4.2002

16

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	

Modulo 2-
aritmetiikka:

$1+1=0$ (XOR)

Lähetetään: 101110 011

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

0011 = tarkistusbitit

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

23.4.2002

18

Vuonvalvonta

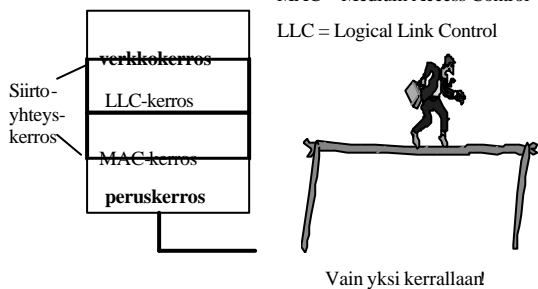
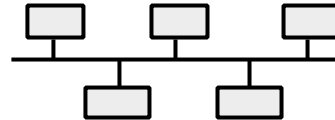
- Liukuva ikkuna
 - ikkunan koko rajoittaa lähettämistä
 - » jos kehyksen numero ei ole ikkunassa, sitä ei oteta vastaan
 - kuittaus siirtää ikkunaa eteenpäin
- stop-sanoma
 - Receive not ready

23.4.2002

19

5.3. Yhteiskäyttöinen kanava

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



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'

23.4.2002

22

Törmäys

- yksi yhteinen kanava lähettäjiille
- 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

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 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

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

23.4.2002

26

Yleislähetysprotokollia

Esimerkkejä:

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

23.4.2002

27

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%

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

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

CSMA-protokollat

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

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

23.4.2002

32

Varausprotokollat

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

Vuorotteluprotokollat

- Pollaus (vuorokysely)
 - isäntäasema antaa vuorotellen muille asemille lähetysluvan
- 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 vuoromerkkin seuravalle

23.4.2002

34

Kanavan jakoprotokollat

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

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)

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

Kaikki bittikuviot parittain ortogonaalisia

- $A \cdot B = 0 = 1/m \sum A_i B_i$ (sisätulo)
- $A \cdot A = 1$
- $-A \cdot A = -1$
- \Rightarrow yhteissignaalia löydetään eri asemien omat lähetykset

23.4.2002

38

- 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
 - » $S \cdot A$ tuottaa aseman lähettämän bitin
 - kerrottuna bitin aikasirujen lukumäärällä

23.4.2002

39

Esimerkki

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

- $S = (-2 -2 0 -2 0 -2 4 0)$
- $C = (-1 1 -1 1 1 1 -1 -1)$
- $S \cdot C = (2 -2 0 -2 0 -2 -4 0)$
 $= -8 \Rightarrow -1$
- eli C lähetti 0-bitin

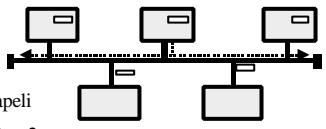
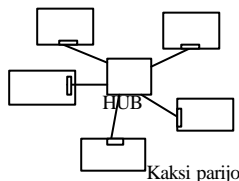
23.4.2002

40

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 kurssilla**

Eetteriverkon rakenne

- väylä
 - 
 - Kaapeli
10Base2
- ◆ tähti
 - hub toimii toistimen tavoin
 - 
 - Kaksi parijohtoa
10BaseT,
100BaseT

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

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

23.4.2002

44

Signaalin koodaus

● Manchester-koodaus

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

23.4.2002

45

CSMA/CD

- jos väylä vapaa, lähetetään heti
- muuten jäädään odottamaan 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 pitäisi
 - keskeytetään lähettäminen

23.4.2002

46

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

● binäärinen eksponentiaalinen peräntymien on joustava

- kuorma kasvaa => väli kasvaa

● vaihtoehtona kiinteä valintaväli

- » aina [0- 1023]
- » aina [0-1]
- » aina [a-n]

- entä suorituskyky?

23.4.2002

48

Ethernet-kehys

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

23.4.2002

49

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

23.4.2002

50

● Type

» kertoo käytetyn verkkoprotokollan tyyppin eli mille protokollalle kehyksen data luovutetaan

- IP, ARP,
- joku muu verkkoprotokola: AppleTalk, Novell IPX, ..

● CRC

» 4 tavua

23.4.2002

51

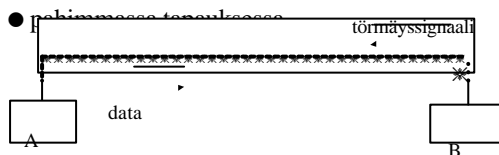
kehyksen pituus

- 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 kuuluu
 - alku perillä => loppukin onnistuu

23.4.2002

52

Väylää kuunneltava



- => kehyksen lähetys minimikesto:
2*etenemisviive väylällä

23.4.2002

53

● 10 Mbps

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

23.4.2002

54

Ethernetin hyvät puolet

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

23.4.2002

55

Ethernetin huonot puolet

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

23.4.2002

56

LLC (Logical Link Control)

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

verkkokerros
LLC
MAC
peruserkerros

23.4.2002

57

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

23.4.2002

58

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!

23.4.2002

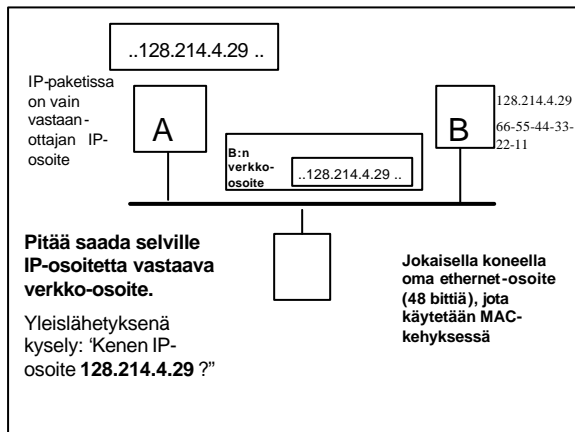
59

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

23.4.2002

60



- Jos A:lla ei ole tietoa ARP-taulussaan, niin A lähettää ARP-kysely yleislähetyksenä
 - » "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-kehysessä.

23.4.2002

62

- **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

23.4.2002

63

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

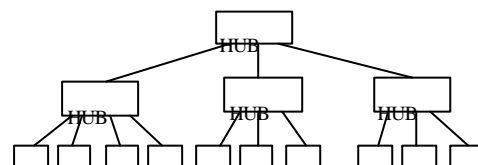
Käyttötarpeita

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

23.4.2002

65

Yhdistäminen keskittimillä



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

23.4.2002

66

Keskityhdistämisen

- 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

23.4.2002

67

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

23.4.2002

68

- 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

23.4.2002

69

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

Sillat ohjaavat kehykset toisiin LANEihin

- siltojen siltataulut

Jokaisella laitteella oma yksikäsitteinen osoite

laitte-osoite	portti
A	1
B	1
C	2
D	2
F	2

Silta B1

laitte-osoite	portti
B	1
C	1
D	2
H	3

Silta B2

Siltataulut

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

23.4.2002

72

Silta käsittelee kaikki kehukset:

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

23.4.2002

73

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)

23.4.2002

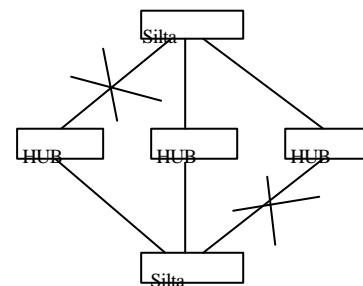
74

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**

23.4.2002

75



23.4.2002

76

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

23.4.2002

77

Siltojen haitat

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

23.4.2002

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!

23.4.2002

79

Erittäin nopeat lähiverkot (High-speed LANs)

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

23.4.2002

80

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

23.4.2002

81

PPP (Point-to-Point Protocol)

- IETF:n vaatimuksia
 - hyvin toimiva kehystys
 - kehysten virhetarkistus (virheellinen kehys tuhoataan!)
 - 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

23.4.2002

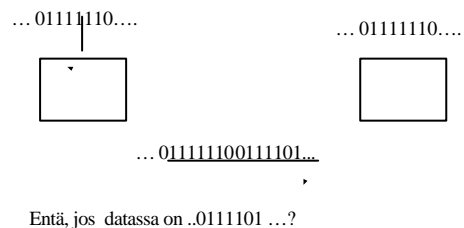
82

PPP-kehys

Tavuja	1	1	1	1-2	vaihtelee	2-4	1
	01111110	osoite	kontrolli	protokoll	data	CRC	01111110

- **lipputavu 01111110**,
 - tavunlisäys (bytestuffing) 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;**

Tavunlisäys



23.4.2002

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

23.4.2002

85

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**

23.4.2002

86

Yhteyden purku

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

23.4.2002

87

Linjayhteyden muodostus

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

23.4.2002

88

- **Open**

- » tiedonsiirto voi alkaa

- **Terminate**

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

23.4.2002

89

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

23.4.2002

90

- **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