

4. MAC-alikerros

- ◆ yleislähetys (broadcast)

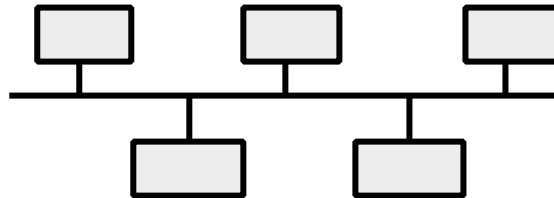
- » multiaccess channel

- » random access channel

- LAN (Ethernet)

- langaton

- ◆ ongelma: käyttövuoron 'jakelu'



4.10.2000

1

Mitä käsitellään?

- ◆ Yhteiskäyttöisen kanavan käyttö

- yleistä ongelmasta

- esimerkkejä: CSMA/CD, CDMA

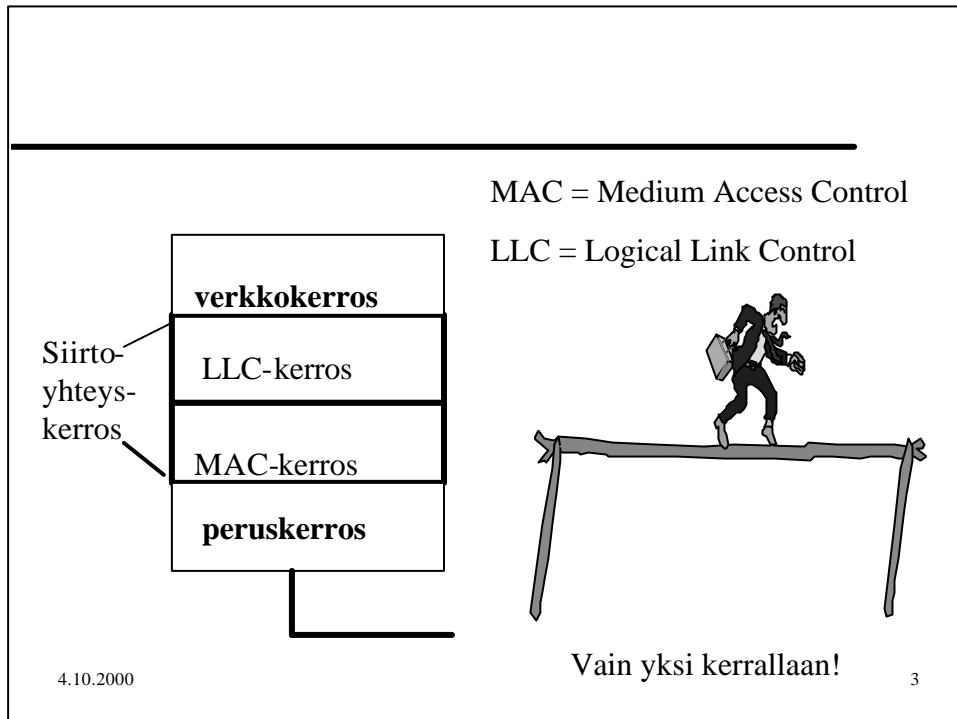
- ◆ Lähiverkot

- Ethernet

- ◆ lähiverkkojen yhdistäminen silloilla

4.10.2000

2



4.1. Kanavan varausongelma

- ◆ staattinen/dynaaminen
 - purskeisessa käytössä dynaaminen tehokkaampi
 - ◆ vrt. esim. piirikytkentä \Leftrightarrow pakettikytkentä
 - ◆ voidaan osoittaa esim jonoteorian peruslaskulla
 - ◆ tietokoneen datan siirto on yleensä hyvin purskeista
 - ◆ hajautettu/keskitetty
 - keskitetyssä joku erikoisasemassa oleva huolehtii käyttövuorojen jakamisesta
 - ◆ entä jos vuoronjakaja vikaantuu?
- 4.10.2000 4

Eri yhteiskäyttötapoja on hyvin paljon

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

4.10.2000

5

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

4.10.2000

6

Aika

◆ jatkuva aika

- ◆ lähetykset voivat alkaa milloin vain
- ◆ ei mitään synkronointi, ei yhteistä aikaa

◆ viipaloitu aika (slotted time)

- ◆ aika lokeroitu aikaviipaleiksi
- ◆ lähetykset voi alkaa vain aikaviipaleen alussa
- ◆ aikaviipaleessa
 - ei kukaan lähetä => hukkaan
 - yksi lähetykset => ok
 - useita lähetyksiä => törmäys
- ◆ vähentää törmäyksiin (=hukkaan) menevää aikaa
 - törmäykset täydellisiä

4.10.2000

7

Lähetykanavan kuuntelu (carrier sense)

◆ käynnissä olevan lähetyksen havaitseminen

- asema tutkii, onko kanava jo käytössä
 - ◆ ennen lähetyksetä 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

4.10.2000

8

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

4.10.2000

9

4.2. Yleislähetysprotokollia

Esimerkkejä:

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

4.10.2000

10

ALOHA

- ◆ Hawaiiilla, 70-luvulla radiotietä varten
- ◆ **puhdas ALOHA:**
 - asema lähettää aina, kun sillä 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%

4.10.2000

11

Viipaloitu ALOHA

- ◆ lähetyssaika 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

4.10.2000

12

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

4.10.2000

13

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 lähetysvuoroja
 - viipaloitu aika vai ei?
 - vaikka kanava on vapaa, ei silti aina lähetetä
 - ◆ lähetys vapaalle väylälle todennäköisyydellä p!

4.10.2000

14

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

4.10.2000

15

Varausprotokollat

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

4.10.2000

16

Kanavan jakoprotokollat

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

4.10.2000

17

CDMA (Code Division Multiple Access)

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

4.10.2000

18

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

Ps. Oikeasti käytetään 64 tai 128 sirua

Kaikki bittikuviot parittain ortonaalisia

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

- ◆ 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

esim.

» 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

4.3 Ethernet-lähiverkko

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

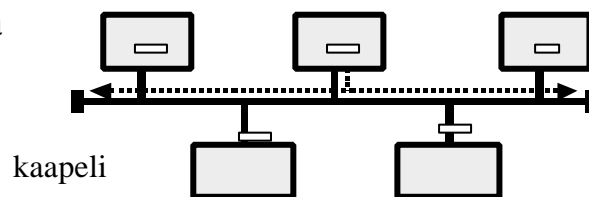
ei käsitellä tällä kurssilla

4.10.2000

23

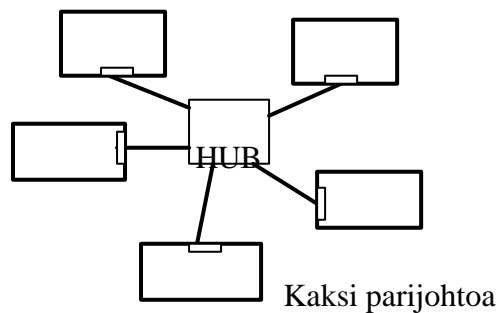
Eetteriverkon rakenne

◆ 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

4.10.2000 » Fast Ethernet

25

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

4.10.2000

26

Signaalin koodaus

◆ Manchester-koodaus

– tahdistus

» **jännitteen muutos keskellä bittiä**

- ◆ ei kellopulssia
- ◆ mutta lisää kaistanleveyttä

CSMA/CD

- ◆ jos väylä vapaa, lähetetään heti
- ◆ muuten jäädään odottamaan ja lähetetään heti linjan vapauduttua
- ◆ entä kun tapahtuu törmäys?

Törmäyksen jälkeinen uudelleenlähetys

◆ Binary exponential backoff

- törmäyksen jälkeen aika jaetaan lokeroiksi
 - ◆ $51.2 \mu\text{s}$ 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 perääntymien on joustava

– kuorma kasvaa => väli kasvaa

◆ vaihtoehtona kiinteä valintaväli

» aina [0- 1023]

» aina [0-1]

» aina [a-n]

– entä suorituskyky?

Ehternet-kehys

preamble	Destin. address	Source address	type	data	CRC
----------	--------------------	-------------------	------	------	-----

8 B

6 B

6 B

2 B

46-1500 B

4 B

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
 - » 1111 kaikkia
 - » yksi bitti: paikallinen vai globaali osoite

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

Väylää kuunneltava

- ◆ pahimmassa tapauksessa



- ◆ => kehyksen lähetyksen minimikesto:
2*etenemisviive väylällä

4.10.2000

33

- ◆ 10 Mbps

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

4.10.2000

34

Ethernetin hyvät puolet

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

Ethernetin huonot puolet

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

LLC (Logical Link Control)

- ◆ LAN-verkot
- ◆ vuonvalvonta, virhevalvonta, yhtenäinen rajapinta erilaisiin verkkoihin
- ◆ ~ OSI-malli, HDLC
- ◆ Palvelut:
 - epäluotettava datasäikepalvelu,
 - kuittava datasäikepalvelu,
 - luotettava yhteydellinen palvelu

verkkokerros
LLC
MAC
peruserros

4.10.2000

37

4.4 Silta (bridge)

- ◆ LAN-verkkojen yhdistäminen
 - ◆ keskittimillä (hub)
 - » toistin, toimii perustasolla, käsittelee bittejä
 - » lähettää vastaanottamansa bitit kaikille muille
 - » yhteinen törmäysalue => vain pieniin verkkoihin
 - » vain samanlaisiin verkkoihin
 - ◆ silloilla
 - » linkkitason olio
 - » voi **periaatteessa** yhdistää myös erilaisia verkkoja
- ◆ mitä erilaisempia sen hankalampaa

4.10.2000

38

Sillan portit

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

4.10.2000

39

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 reitittää edelleen

4.10.2000

40

- ◆ Tuntumaton silta
 - tekee itse kaikki reititysratkaisut
 - 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

Sillat reitittävät kehykset toisiin LANEihin

- ◆ siltojen reittitaulut

A	1
B	1
C	2
D	2
F	2

Silta B1

B	1
C	1
D	2
H	3

Silta B2

Reittitaulut

- ◆ Alkutilanteessa kaikkien siltojen reittitaulut ovat tyhjiä
- ◆ reittitaulua päivitetään aina, kun kehys saapuu
- ◆ vanhentuneet tiedot poistetaan
 - ◆ ajastin laukeaa

4.10.2000

43

Silta käsittelee kaikkia kehykset:

Kehys: lähdeLAN X; kohdeLAN Y; tuloportti I;

- ◆ X,Y reittitaulussa
 - ◆ X ja Y samassa verkossa => hylkää kehys
 - ◆ X ja Y ei verkoissa => lähetä eteenpäin
 - ◆ päivitä X, I
- ◆ X ei taulussa
 - ◆ lisää X, I => silta oppii (**backward learning**)
- ◆ Y ei taulussa
 - ◆ lähetä Y kaikista muista porteista => tulvitus
 - ◆ päivitä X, I

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 virittävä puu (spanning tree)

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**

4.5 Erittäin nopeat lähiverkot

(High-speed LANs)

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

Fast Ethernet

- ◆ Ethernet piirteet ennallaan
 - kehysrakenne
 - liitännät
 - protokollat
- ◆ muutos:
 - bitin lähetysaika 0.1 ms \rightarrow 0.01 ms
 - \Rightarrow 10Mbps \rightarrow 100Mbps
- ◆ 10BaseT -rakenne eli hub

Johtovaihtoehtoja

- ◆ kategorian 3 kierretty pari (100Base-T4)
 - tavallinen puhelinliitântä
 - » kaikkialla jo valmiina
 - yksi pari vain 25 Mhz
 - » => 4 paria, joista kolme aina lähetyssuuntaan
 - » **ternääri**-signaali: 0, 1 ja 2
 - » kolmella johdolla yksi 27 symbolista/kellojakso
 - » => 4 bittiä kerrallaan ja 25 MHz => 100 Mbps
 - lisäksi 1 pari toiseen suuntaan
 - » 33.3 Mbps (8B6T)

4.10.2000

49

-
- ◆ kategorian 5 kierretty pari (100Base-TX)
 - > 125 MHz
 - 2 kierrettyä paria
 - » toinen keskittimeen ja toinen keskittimestä
 - » kaksisuuntainen (full duplex)
 - koodaus 4B5B
 - » viiden syklin aikana lähetetään 4 bittiä
 - ◆ monimuoto valokaapeli (100Base-FX)
 - etäisyys jopa 2 km

4.10.2000

50