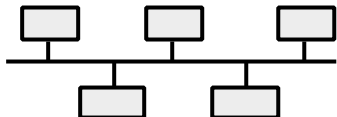


## 4. MAC-alikerros

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



4.10.2000

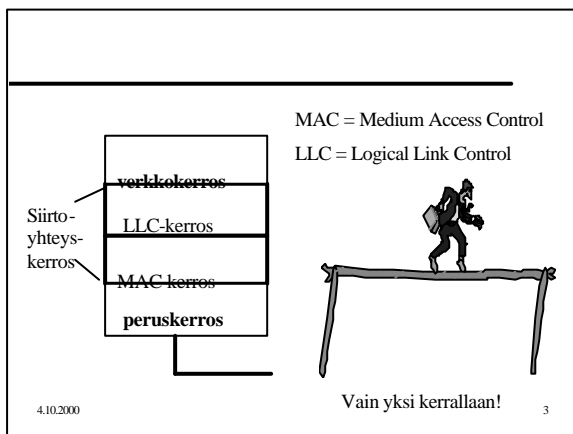
1

## Mitä käsitellään?

- ◆ Yhteiskäyttöisen kanavan käyttö
  - yleistä ongelmasta
  - esimerkkejä: CSMA/CD, CDMA
- ◆ Lähiverkot
  - Ethernet
- ◆ lähiverkkojen yhdistäminen silloilla

4.10.2000

2



4.10.2000

3

## 4.1 Kanavan varausongelma

- ◆ staattinen/dynaaminen
  - purskeisessa käytössä dynaaminen tehokkaampi
    - ◆ vrt. esim. piirikytkentä <=> 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. satelliittilähetykset

4.10.2000

8

## Kanavan kuuntelu

- ◆ ei aina paljasta jo alkanutta lähetyksetä
  - etenemisviipeen takia
- ◆ tai ole järkevää
  - esim. satelliittikanavan kuuntelu ei paljasta sitä, onko joku toinen maa-asema jo aloittanut lähetykset
  - langattomassa lähiverkossa lähettäjän ympäristön kuuntelu ei kerro sitä, onko vastaanottaja saamassa sanomia muualta

4.10.2000

9

## 4.2. Yleislähetyksetprotokollia

### Esimerkkejä:

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

4.10.2000

10

## ALOHA

- ◆ Hawailla, 70-luvulla radiotietä varten
- ◆ puhdas ALOHA:
  - asema lähettää aina, kun sillä lähetettävää
  - ja samalla kuuntelee, onnistuiko lähetykset
    - ◆ lähiverkossa törmäys havaitaan 'heti', sillä siirtoviive pieni
    - ◆ toisin satelliittilla!
  - jos törmäys, niin lähettäjää odottaa satunnaisen ajan ja yrittää uudelleen
  - maksimaalinen tehokkuus ~18%

4.10.2000

11

## Viipaloitu ALOHA

- ◆ lähetyksetaika jaettu aikaviipaleiksi
- ◆ lähetykset 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 lähetyksvuoroja
  - viipaloitu aika vai ei?
  - vaikka kanava on vapaa, ei silti aina lähetetä
    - ◆ lähetyks vapaille 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  $2\tau$ ,  $\tau$  on maksimi etenemisviive kahden aseman välillä
- ◆ jos törmäys
  - => havaitaan ja lopetetaan lähetyks
  - => yritetään uudestaan satunnaisen ajan kuluttua

4.10.2000

15

## Varausprotokollat

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

4.10.2000

16

## Kanavan jakoprotokollat

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

4.10.2000

17

## 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 bittiä kohden
- ◆ kullakin asemalla oma 'sirukuvio' 1-bitin lähetykseseen
  - » (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

4.10.2000

19

## Kaikki bittikuviot parittain ortonaalisia

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

4.10.2000

20

- ◆ 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

## esim.

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

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

## 4.3 Ethernet-lähiverkko

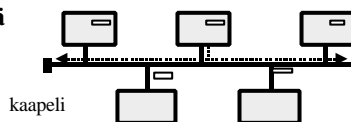
- ◆ Yleisin lähiverkkoteknologia
  - ◆ IEEE:n standardoima LAN-verkko
    - CSMA/CD (kuulosteluväylä)
  - ◆ Muita lähiverkkostandardeja
    - esim.
      - ◆ Token ring (vuororengas)
      - ◆ FDDI
      - ◆ WLAN (langaton lähiverkko)
- ei käsitellä tällä kurssilla**

4.10.2000

23

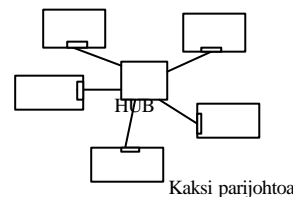
## Eetteriverkon rakenne

### ◆ 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
  - » Fast Ethernet

4.10.2000

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 jäähdään odottamaan ja lähetetään heti linjan vapauduttua
- ◆ entä kun tapahtuu törmäys?

4.10.2000

29

## Törmäyksen jälkeinen uudelleenlähetys

- ◆ **Binary exponential backoff**
  - törmäyksen jälkeen aika jaetaan lokeroiksi
    - ◆ 51.2  $\mu$ 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

4.10.2000

28

- ◆ binäärinen eksponentiaalinen perääntymien on joustava
  - kuorma kasvaa => väli kasvaa
- ◆ vaihtoehtona kiinteä valintaväli
  - » aina [0- 1023]
  - » aina [0-1]
  - » aina [a-n]
  - entä suorituskyky?

4.10.2000

29

## Ehternet kehys

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

4.10.2000

30

## 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

4.10.2000

31

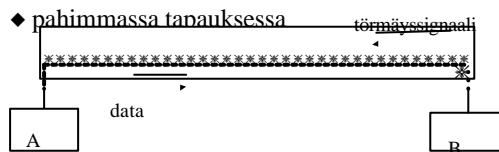
## kehyksen pituus

- ◆ 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

4.10.2000

32

## Väylää kuunneltava



- ◆ => kehyksen lähetysten minimikesto:  
2\*etenemisviive väylällä

4.10.2000

33

- ◆ 10 Mbps

- LAN-pituus korkeintaan 2500 m
- toistimia korkeintaan 4
- lähetyksen kestettävä ainakin 51.2  $\mu$ 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

4.10.2000

35

## Ethernetin huonot puolet

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

4.10.2000

36

## 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
peruskerros

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 reitittaulut

A	1
B	1
C	2
D	2
E	2

Silta B1

B	1
C	1
D	2
H	3

Silta B2

4.10.2000

42

## 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 kehukset:

**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)

4.10.2000

45

## 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**

4.10.2000

46

## 4.5 Erittäin nopeat lähiverkot

(High-speed LANs)

---

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

4.10.2000

47

## Fast Ethernet

---

- ◆ Ethernet piirteet ennallaan
  - kehysrakente
  - liitännät
  - protokollat
- ◆ muutos:
  - bitin lähetysaika 0.1 ms -> 0.01 ms
    - => 10Mbps -> 100Mbps
- ◆ 10BaseT -rakenne eli hub

4.10.2000

48



## 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