

# 4. MAC-alikerros

---

- ◆ yleislähetys (broadcast)

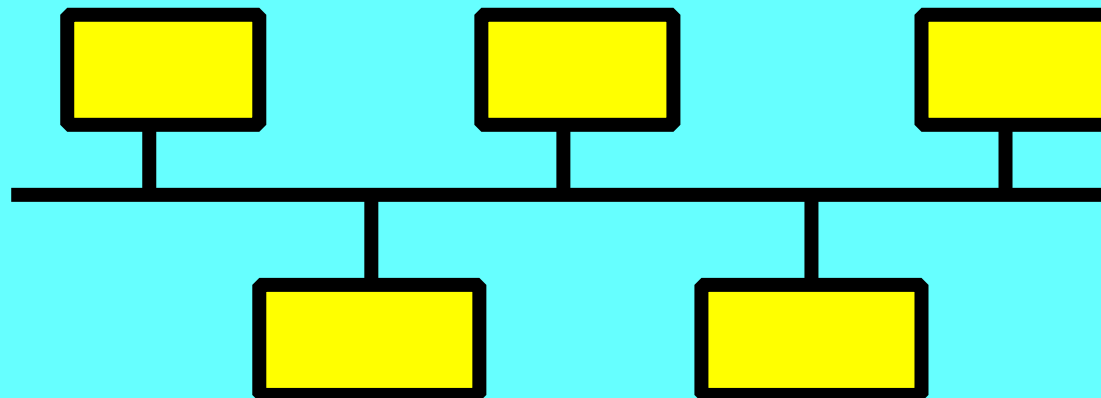
- » multiaccess channel

- » random access channel

- LAN (Ethernet)

- langaton

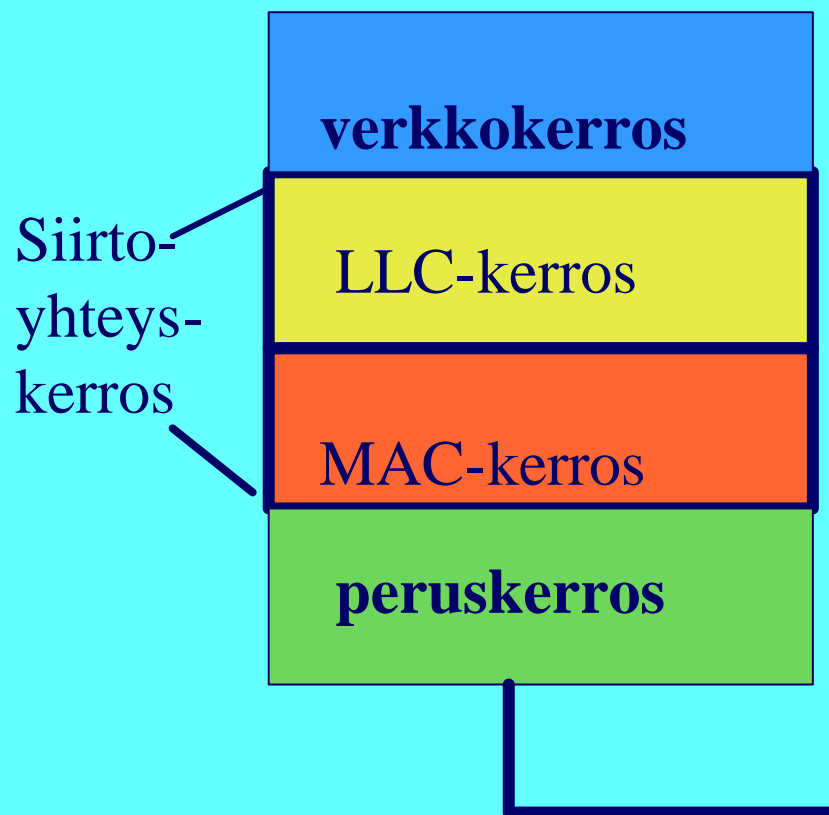
- ◆ ongelma: käyttövuoron ‘jakelu’



# Mitä käsitellään?

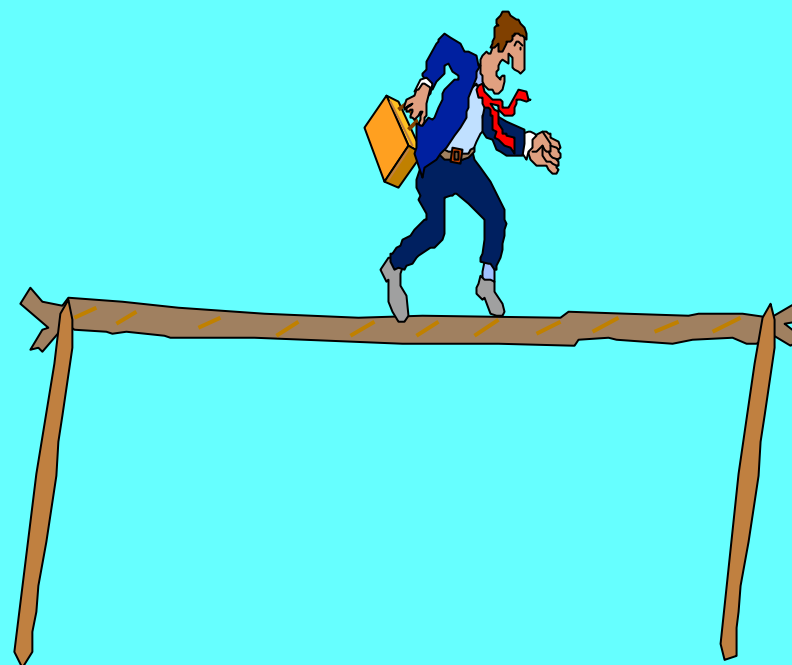
---

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



MAC = Medium Access Control

LLC = Logical Link Control



Vain yksi kerrallaan!

# 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

- keskitettyssä joku erikoisasemassa oleva huolehtii käyttövuorojen jakamisesta

# 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**

# Törmäys

---

- ◆ yksi yhteinen kanava lähettäjäille
- ◆ 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

## 4.2. Yleislähetysprotokollia

---

### **Esimerkkejä:**

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

# 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%**

# 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?
    - ◆ jäädään 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  $2\tau$ ,  $\tau$  on maksimi etenemisviive kahden aseman välillä
- ◆ jos törmäys
  - => havaitaan ja lopetetaan lähetys
  - => yritetään uudestaan satunnaisen ajan kuluttua

# Varausprotokollat

---

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



# 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 lähetyssaika 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

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

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

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

$$\begin{aligned} \blacklozenge S \bullet C &= (2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ -4 \ 0) \\ &= -8 \Rightarrow -1 \end{aligned}$$

◆ eli C lähetti 0-bitin

# 4.3 Ethernet-lähiverkko

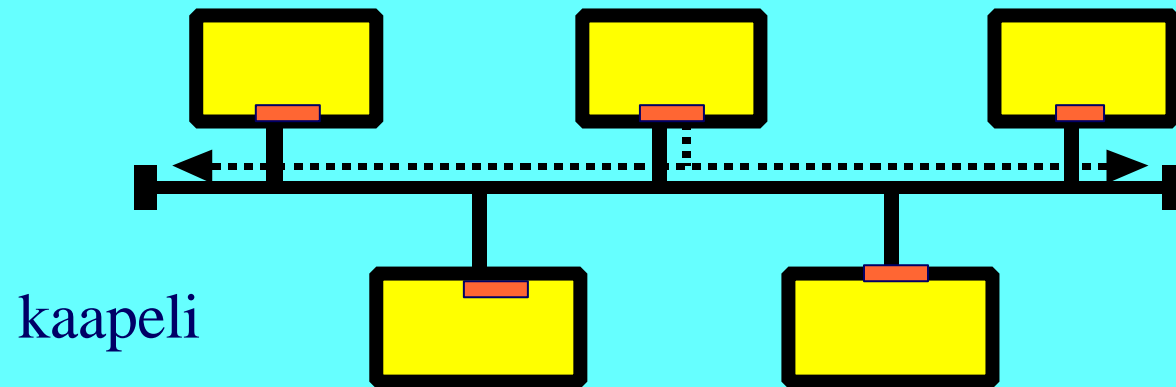
---

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

**ei käsitellä tällä kurssilla**

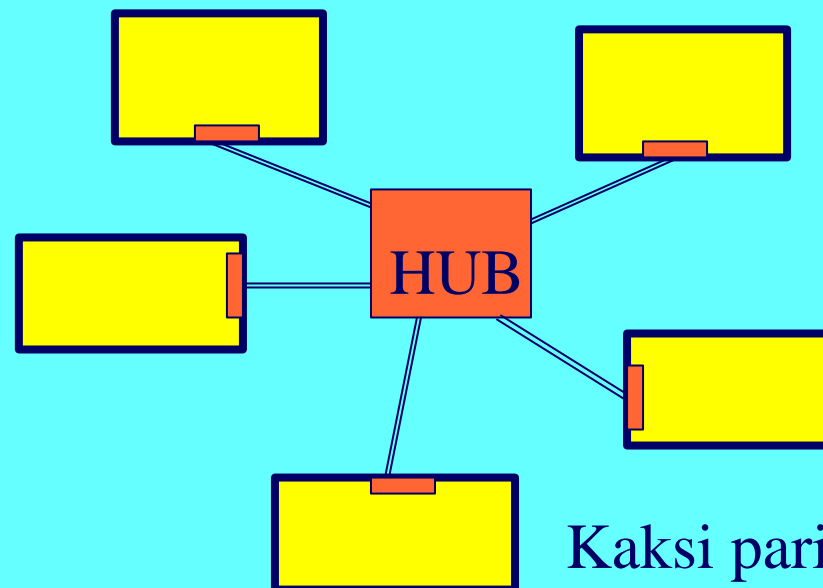
# Eetteriverkon rakenne

## ◆ 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

# 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

# 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

---

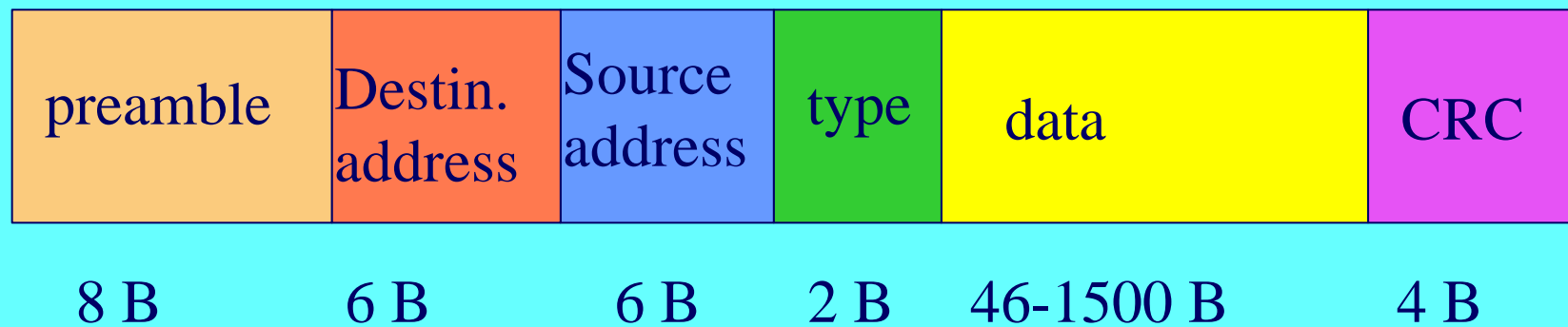
## ◆ Binary exponential backoff

- 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

---



# 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

# kehyksen pituus

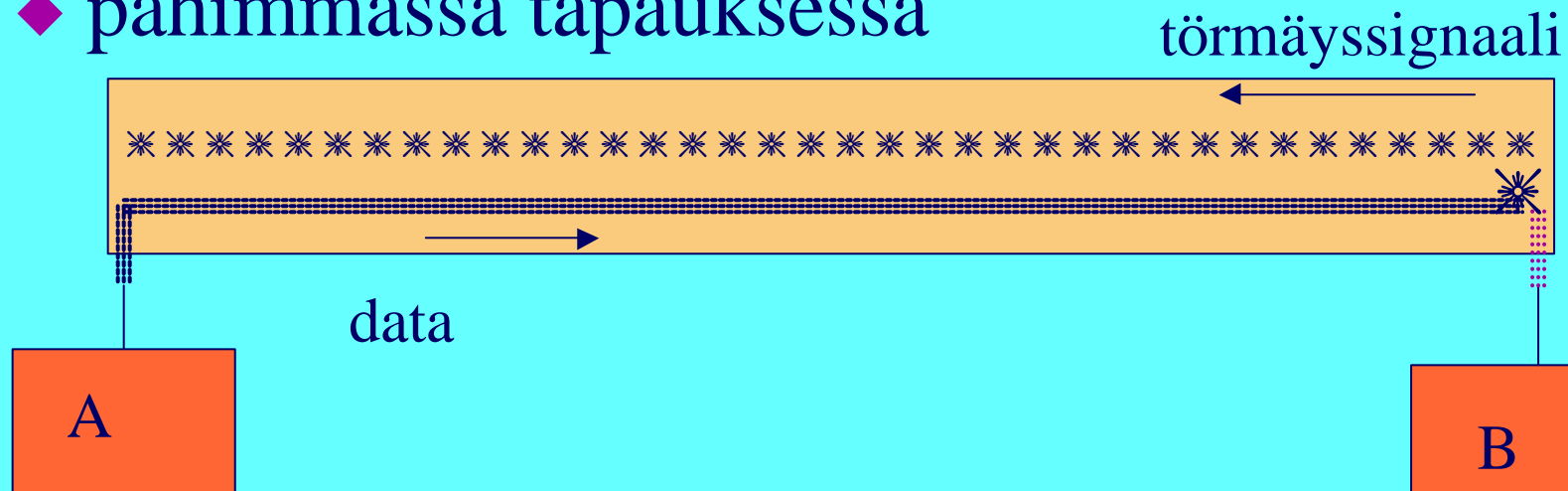
---

- ◆ 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

---

◆ 10 Mbps

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

# 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
- ◆ epädeterministinen
- ◆ ei prioriteetteja
- ◆ raskas kuorma
  - => törmäyksiä => suoritusteho laskee

# LLC (Logical Link Control)

---

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



## 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

# 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

# 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



- ◆ 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

## 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)

# 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 -> 0.01 ms  
=> 10Mbps -> 100Mbps
- ◆ 10BaseT -rakenne eli hub



# Johtovaihtoehtoja

---

- ◆ kategorian 3 kierretty pari (100Base-T4)
  - tavallinen puhelinliitäntä
    - » 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)

- 
- ◆ 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