

5. Siirtoyhteyskerros

linkkikerros (Data Link Layer)

- yhtenäinen linkki solmusta solmuun

- bitit sisään => bitit ulos

- ongelmia:

- siirtovirheet

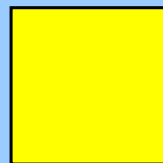
- havaitseminen
- korjaaminen

- solmun kapasiteetti

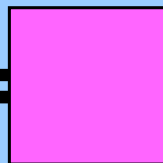
- vuonvalvonta

- yhteisen kanavan käyttö

01011011



01011011

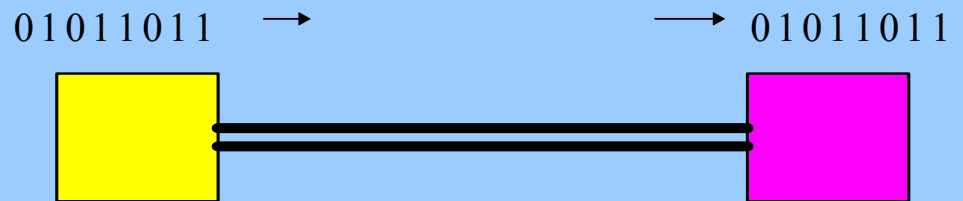


5.1. Kaksipisteystehtydet

Virhevalvonta

- * virheiden havaitseminen
- * virheiden korjaus

Vuonvalvonta



Bittivirta \Leftrightarrow kehäksiä

- tavoite
 - bittivirheiden hallinta
 - muuttuu
 - katoaa
 - monistuu
- bittivirta kehäksinä
- kehys tarkistettavissa
 - tarkistustietoa

Kehysten kuljetus

- **tavoite**

- kaikki kehykset
- kukin kehys virheettömästi
- lähetysjärjetyksessä

- **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

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

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**

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

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

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
 - lohkokoodija , jotka pystyvät korjaamaan virheryöppyjä

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

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**

Pariteettibitin käyttö

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

Horisontaaliset ja vertikaaliset pariteetit

- järjestetään bittijono kaksikulotteiseen taulukkoon
- lasketaan pariteetti jokaiselle vaaka- ja pystyriville

1001010		1	
0111010		0	
1110001		0	horisontaaliset
1000111		0	pariteetit
0011001		1	
<hr/>			
1011111		0	taulukon
			pariteetti
			vertikaaliset

Virheiden havaitseminen

- Ei löydä lyhyitä virheryöppyjä, joissa neljä bittiä vaihtuu sopivasti

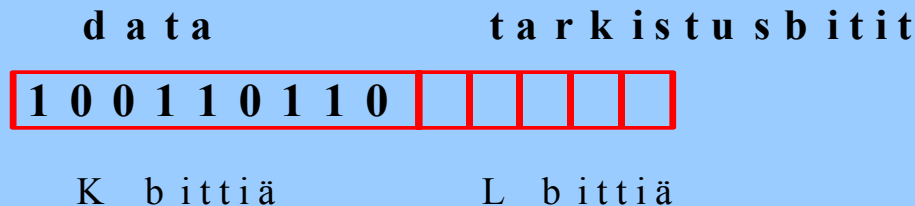
1 0 0 1 0 1 0
0 1 1 1 0 1 0
1 1 1 0 0 0 1
1 0 0 0 1 1 1

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

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



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 = tarkistusbitit
```

Modulo 2-
aritmetiikka:

$$1+1 = 0 \text{ (XOR)}$$

Lähetetään: 101110 011

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

Standardoituja virittäjäpolynomeja

- $\text{CRC-12} = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
- $\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- $\text{CRC-32} = x^{32} + x^{26} + x^{23} + \dots + x^4 + x^2 + x + 1$

CRC: n virheiden havaitsemiskyky

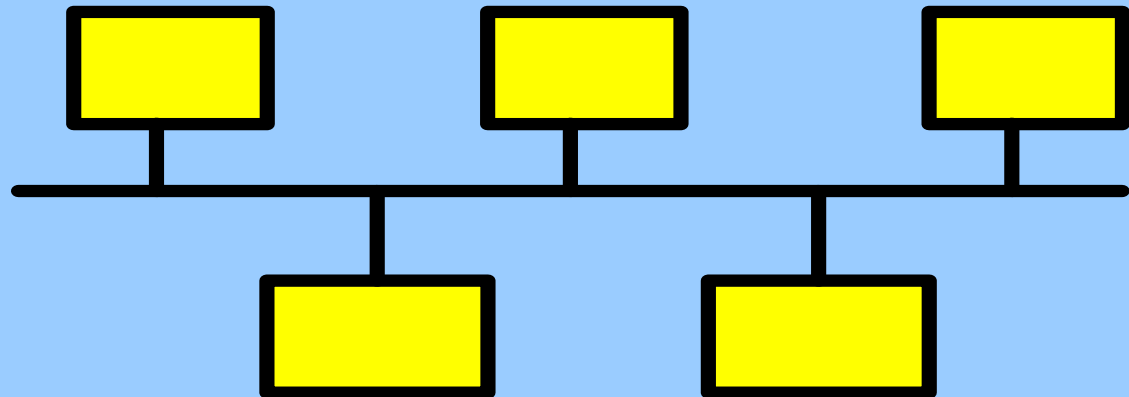
- kaikki virheryöpyt, joiden pituus $<$ tai $=$ kuin virittäjän
- useimmat virheryöpyt, joiden pituus on suurempi
 - CRC-32: $P\{\text{ryöppy} > 33 \text{ havaitaan}\} = 0.9999999998$
- Huom
 - » Arvioinneissa lähtökohtana ollut täysin satunnainen bittien jakautuminen, mutta todellisuudessa näin ei ole!
 - » Joten havaitsemattomien virheiden määrä on arvioitua suurempi.

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

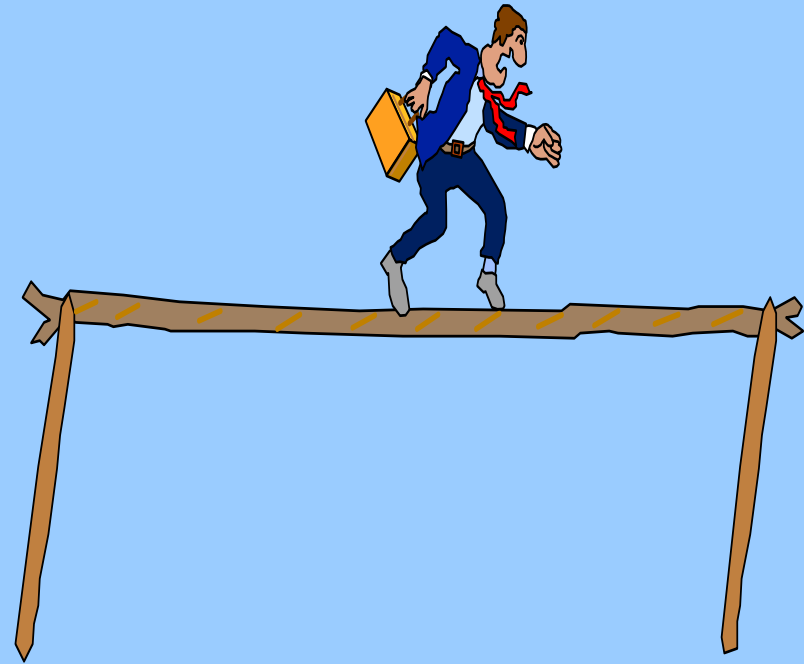
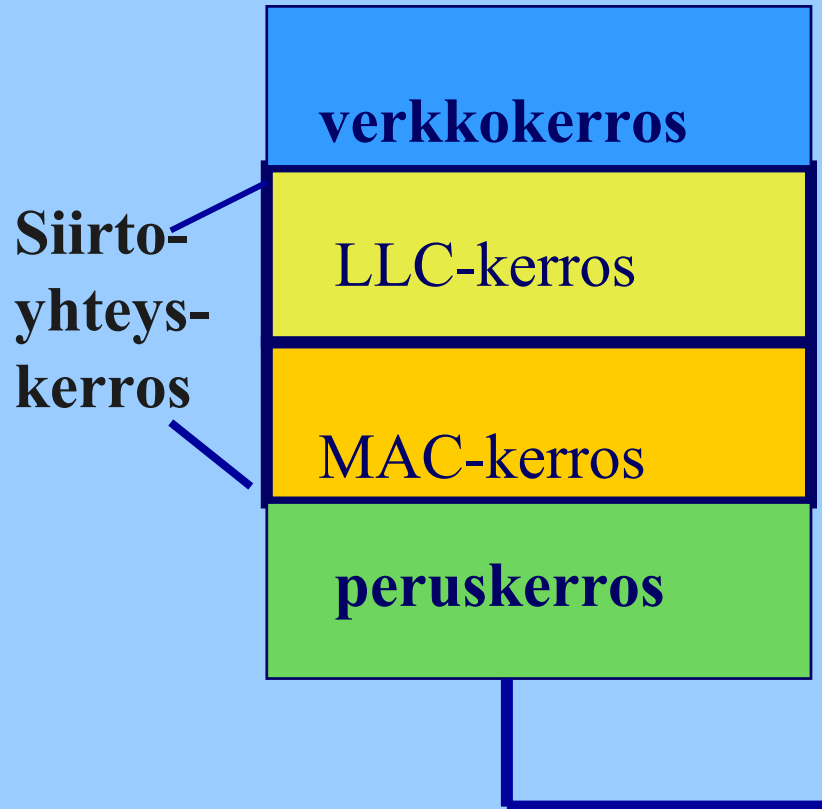
5.3. Yhteiskäyttöinen kanava

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



MAC = Medium Access Control

LLC = Logical Link Control



Vain yksi kerrallaan!

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’

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
 - poikkeus CDMA

Aika

- **jatkuva aika**
 - lähetykset voivat alkaa milloin vain
 - ei mitään synkronointia, 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
 - edellyttää synkronointia

Lähetyiskanavan 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
 - » satelliittikanavan kuuntelu ei paljasta sitä, onko joku toinen maa-asema jo aloittanut lähetyksen
 - » myös lyhyessä kaapelissa, mutta vain hyvin lyhyen ajan
 - langattomassa lähiverkossa lähettäjän ympäristön kuuntelu ei kerro sitä, onko vastaanottaja saamassa sanomia muualta

Yleislähetysprotokollia

Esimerkkejä:

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

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

- lähetyssaika jaettu aikaviipaleiksi
- lähetyks 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

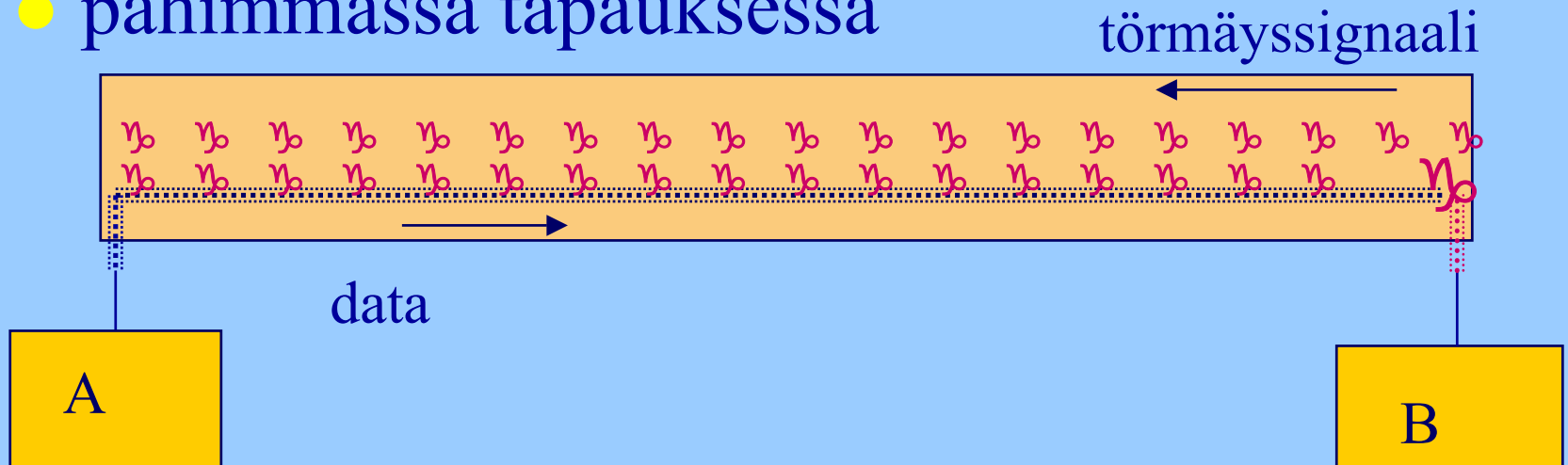
- kuuntele linjaa ennen lähettämistä
- jos linja vapaa lähetä (yleensä)
- jos linja varattu odota satunnainen aika ja yritä uudelleen

- Suorituskyky:

- törmäysvaara vain jos asemat lähettävät niin samanaikaisesti, että eivät siirtoviiveen vuoksi havaitse toista lähetystä
- ongelma, jos siirtoviive on pitkä

Väylää kuunneltava

- pahimmassa tapauksessa



- => kehyksen lähetyksen minimikesto:
2*etenemisviive väylällä

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 2τ , τ 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

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 lähetettävää, se siirtää vuoromerkin seuravalle

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

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

- 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

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

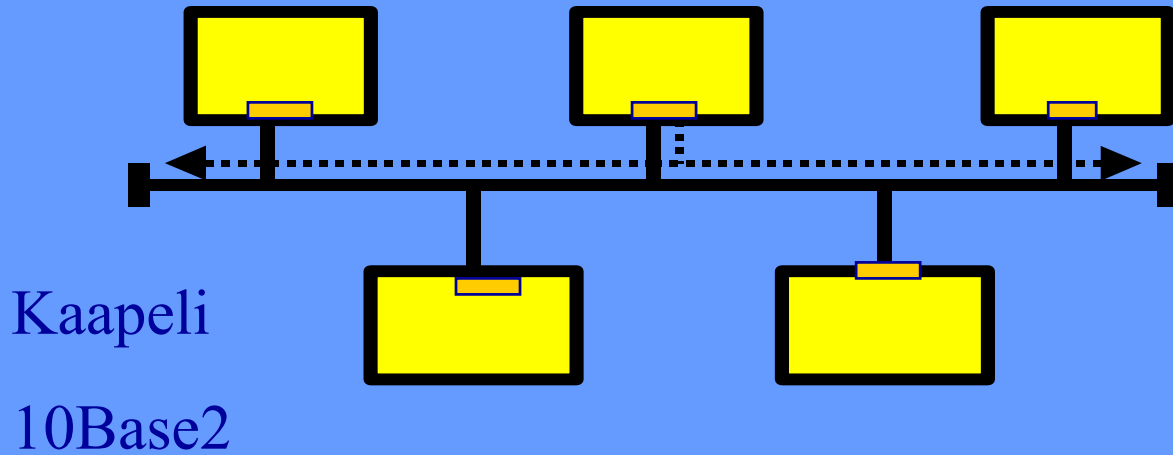
5.5 Ethernet-lähiverkko

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

ei käsitellä tällä kurssilla

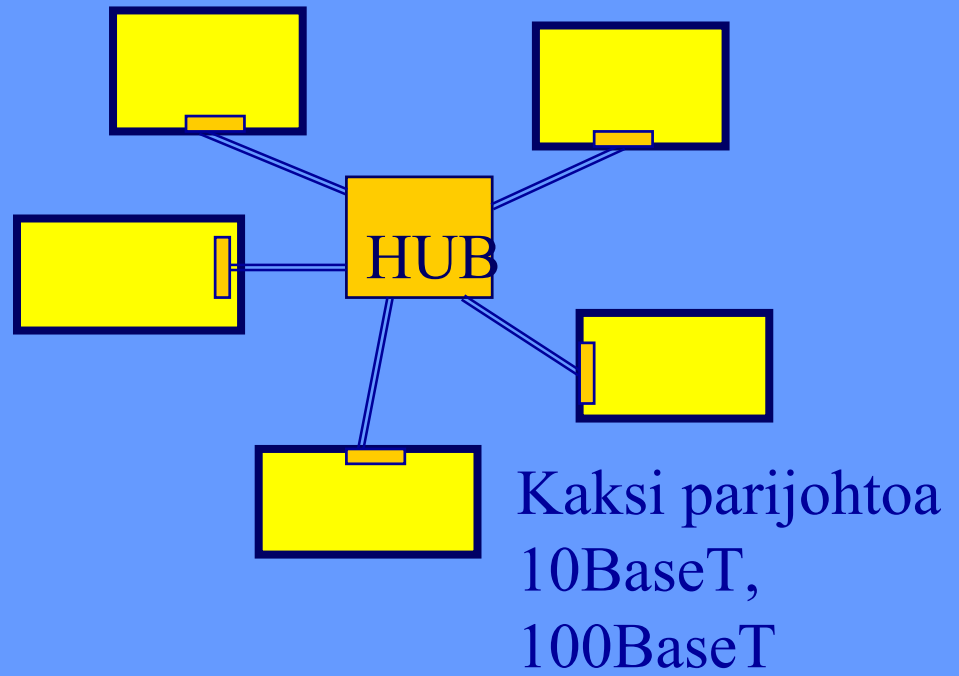
Eetteriverkon rakenne

- väylä



- ◆ 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

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

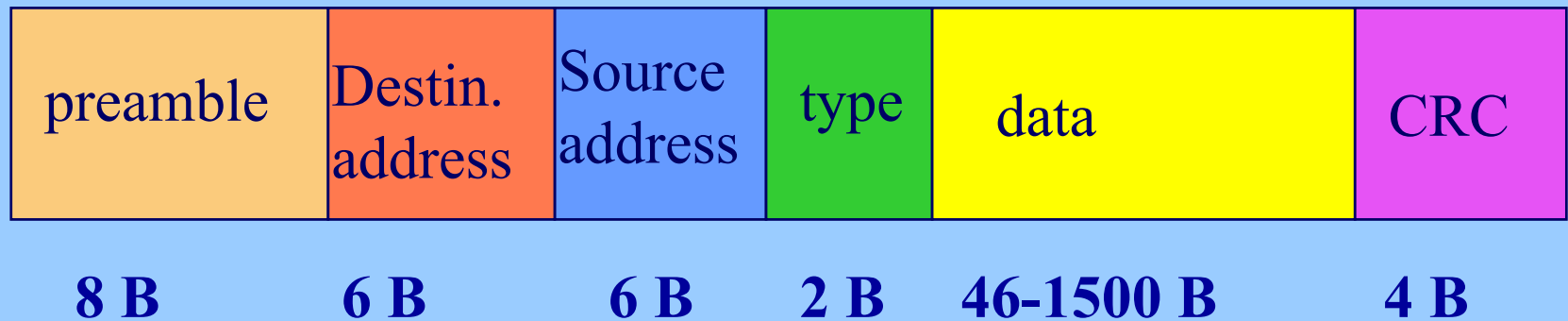
- jos väylä vapaa, lähetetään heti
- muuten jäädään odottamaan ja lähetetään heti linjan vapauduttua
- aina kun on lähetetty, jäädään kuuntelemaan, onnistuiko lähetys
- entä kun tapahtuu **törmäys** eli usea samanaikainen lähetys
 - » jännite on suurempi kuin normaalisti pitäisi
 - keskeytetään lähettäminen

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 perääntymien on joustava**
 - kuorma kasvaa \Rightarrow väli kasvaa
- **vaihtoehtona kiinteä valintaväli**
 - › aina [0- 1023]
 - › aina [0-1]
 - › aina [a-n]
 - entä suorituskyky?

Ethernet-kehys



MAC-protokolla

- **tahdistuskuvio (preamble)**
 - » 7 tavua 10101010 tahdistusta varten
 - » kehyksen alku 10101011
- **kohde- ja lähdeosoitteet**
 - » osoitteessa 6 tavua
 - » 0xxxxx... yksilöosoite
 - » 1xxxxx ... ryhmäosoite (monilähetys)
 - » 11111 Kaikki (yleislähetys)
 - » yksi bitti: paikallinen vai globaali (IEEE) osoite

- **Type**

- » **kertoo käytetyn verkkoprotokollan tyypin eli mille protokollalle kehyksen data luovutetaan**

- **IP, ARP,**

- **joku muu verkkoprotokola:
AppleTalk, Novell IPX, ..**

- **CRC**

- » **4 tavua =32 bittiä**

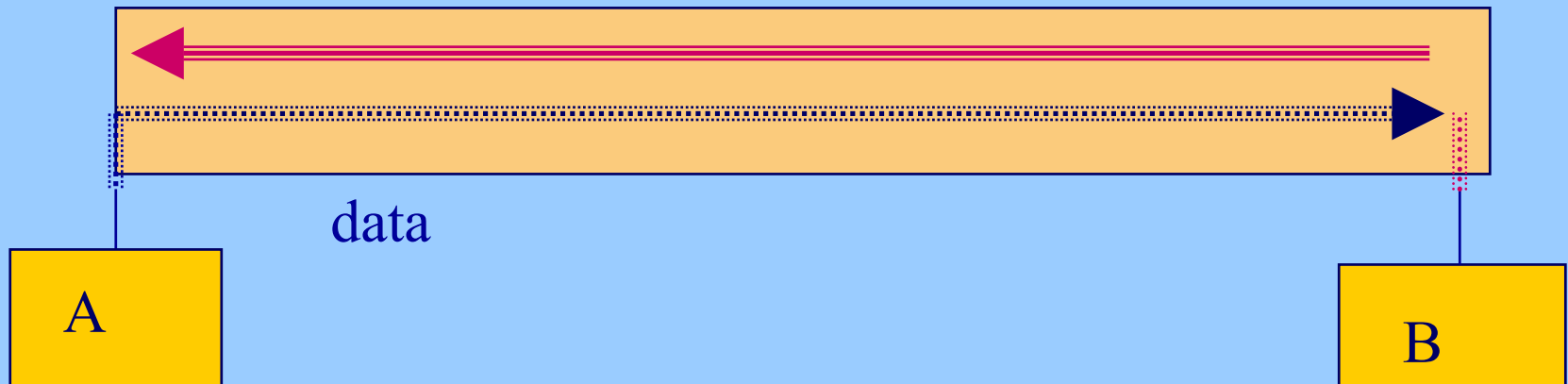
kehyksen pituus

- **64-1500 tavua**
 - kehyksen pituus vähintään 64 tavua
 - » kun nopeus 10 mbps (6400 tavua 1 Gbps)
 - » 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

Väylää kuunneltava

- pahimmassa tapauksessa

törmäyssignaali



- => kehyksen lähetyksen minimikesto:
2*etenemisviive väylällä

- **10 Mbps**

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

Ethernetin hyvät puolet

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

Klassisen Ethernetin huonot puolet

- analoginen törmäyksen havaitseminen
- pienin kehys 64 tavua
 - => yleisrasitetta, jos sanomat lyhyitä
- epätermistinen
- ei prioriteetteja
- raskas kuorma
 - => törmäyksiä => suoritusteho laskee
- Nopeissa kytketyissä ethernet-verkoissa ei ole törmäyksiä eikä epäterministisyyttä

LLC (Logical Link Control)

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



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**

IP-osoite => LAN-osoitteeksi

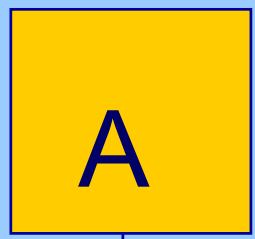
- **ARP-taulu**
 - **IP-osoitteiden muuttamiseksi LAN-osoitteiksi**
 - » **IP-osoite, sitä vastaava LAN-osoite, aikaleima**
 - **vanhentuneet tiedot katoavat taulusta**
- **Entä, jos IP-osoitetta ei ole taulussa?**
 - **Sovelluskerroksella DNS, jolta kysyttiin.**
 - **LAN:ssa kaikki asemat yleensä kuulevat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

ARP-protokolla (Address Resolution Protocol)

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

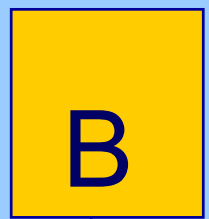
..128.214.4.29 ..

IP-paketissa on vain vastaanottajan IP-osoite

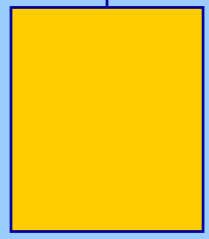


B:n verkko-osoite

..128.214.4.29 ..



128.214.4.29
66-55-44-33
22-11



Pitäää saada selville IP-osoitetta vastaava verkko-osoite.

Yleislähetystenä kysely: 'Kenen IP-osoite 128.214.4.29 ?'

Jokaisella koneella oma ethernet-osoite (48 bittiä), jota käytetään MAC-kehelyksessä

- **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-kehyksessä.**

- **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**

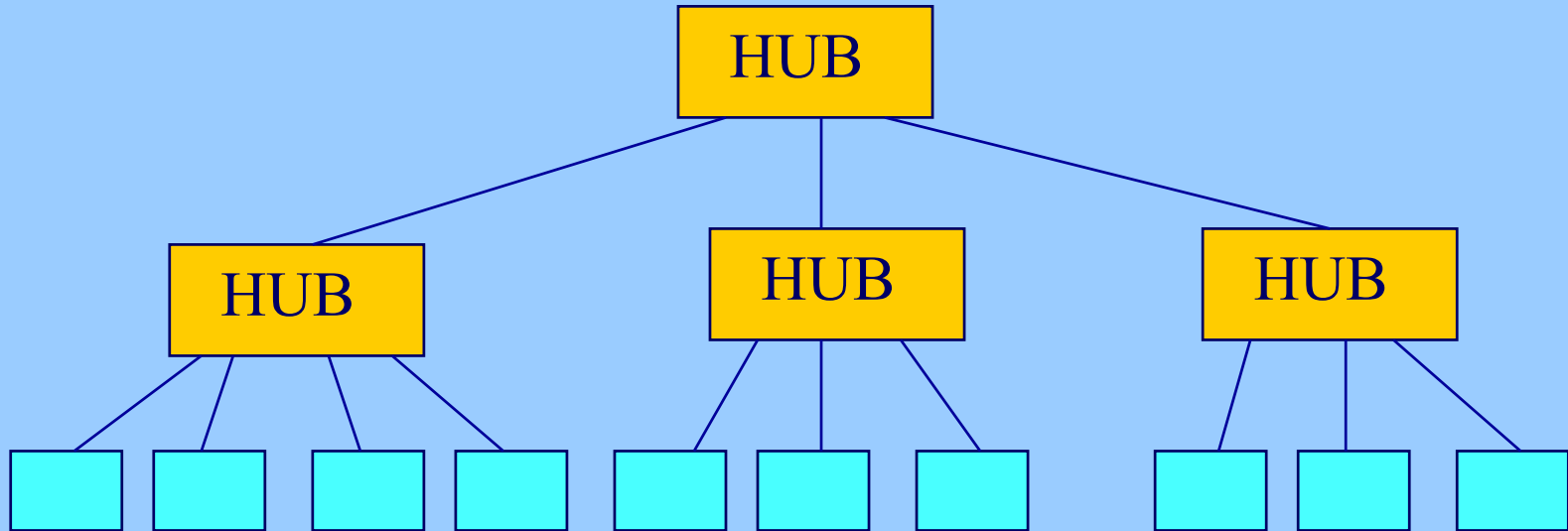
5.6 Keskitin (hub), silta (bridge) ja kytkin (switch)

- 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

Yhdistäminen keskittimillä



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

Keskitynyhdistämisen

- Etuja

- voidaan yhdistää eri osastojen lähiverkot
- suuremmat etäisyydet
- rajoitetummat vikatilanteet

- Haittoja

- sama kapasiteetti jaetaan useammalle
 - » vain rajallinen määrä laitteita
- teknologialtaan erilaisia verkkoja ei voida yhdistää

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

- Tuntumaton silta
 - tekee itse kaikki ohjausratkaisut
 - silta alustaa itse itsensä
 - silta sopeutuu dynaamisesti verkon muutokseen
- eri LANeista voi tulla sanomia yhtäaikaan
 - talletetaan puskureihin
- edelleen lähetettävistä sanomista valmistetaan niiden kohdeverkkoa vastaava kehys

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

laite-
osoite portti

A	1
B	1
C	2
D	2
F	2

Silta B1

Laite-
osoite portti

B	1
C	1
D	2
H	3

Silta B2

okaisella
itteella oma
ksikäsittei-
en osoite

Siltataulut

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

Silta kasittelee kaikki kehykset:

Kehys: lähdeLAN X; kohdeLAN Y; tuloportti I;

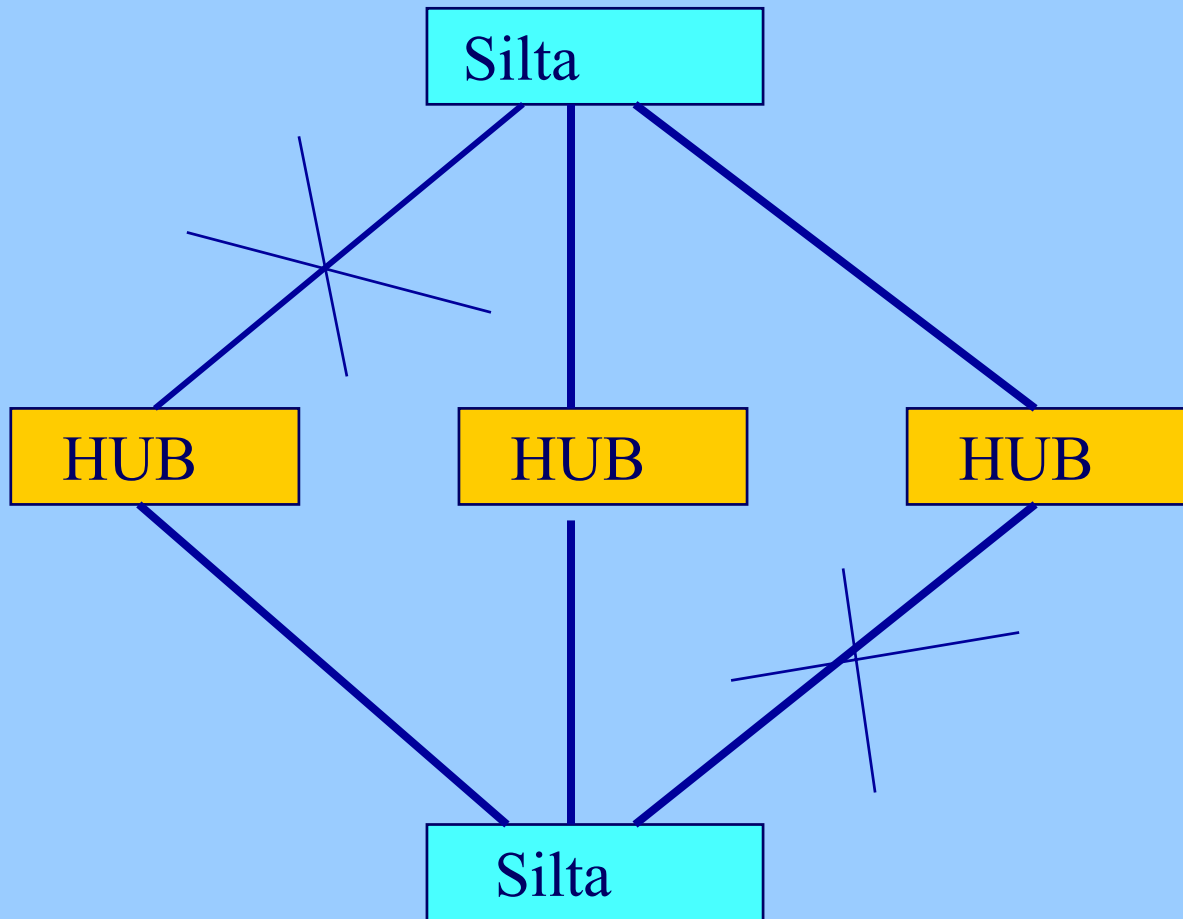
- Lähde ja kohde siltataulussa
 - X ja Y samassa **portissa** => hylkää kehys
 - X ja Y eri **porteissa** => lähetä eteenpäin
 - päivitä X, I
- Lähde ei taulussa
 - lisää X, I, aika => silta oppii (**backward learning**)
- Kohde ei taulussa
 - lähetä Y kaikista muista porteista => tulvitus
 - päivitä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

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)

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**



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

Siltojen haitat

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

Kytkin (switch)

- Erittäin suorituskykyisiä, moniporttisia siltoja
 - silloissa muutamia portteja
 - kytkimissä kymmeniä portteja (liitännöitä)
 - portit voivat olla erinopeuksisia
 - kaksisuuntainen lähetys (full-duplex)
 - verkohallintapiirteitä, **suorakytkentä** (cut-through)
- Koneet voidaan liittää suoraan kytkimeen
 - kukin kone voi lähettää täydellä nopeudella
 - ei törmäyksiä!

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!

5.8. PPP-protokolla

- Linkkitason protokolla kaksipisteyhteyteen
- protokolla 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 linkkiprotokolla**

PPP (Point-to-Point Protocol)

- IETF:n vaatimuksia
 - hyvin toimiva ja tuntumaton kehystys
 - useat verkkokerroksen protokollat voivat käyttää, toimii linkkiyhteyksillä
 - kehysten virhetarkistus (virheellinen kehys tuhoetaan!)
 - havaitsee, jos yhteys ei toimi ja ilmoittaa tästä verkkokerrokselle
 - verkko-osoitteista sopiminen: mm. IP-osoitteet neuvoteltavissa yhteyden muodostuksen aikana
 - autentisointi mahdollista
 - ei vuonvalvontaa, ei takaa pakettien järjestystä

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 1111111 (=yleislähetys)
- kontrollikenttä aina 0000011
 - 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 ylemmälle protokollalle tarkoitettua dataa
 - maksimi sovitaan, oletusmaksimi 1500 tavua
- CRC: tarkistusbitit;

Tavunlisäys

jos datassa on lipputavu 01111110 ?

... 01111110....



**Lisätään eteen DLE-
tavu = 01111101**



... 0111111001111101...



... 01111110....



Entä, jos datassa on ..0111101 ...?

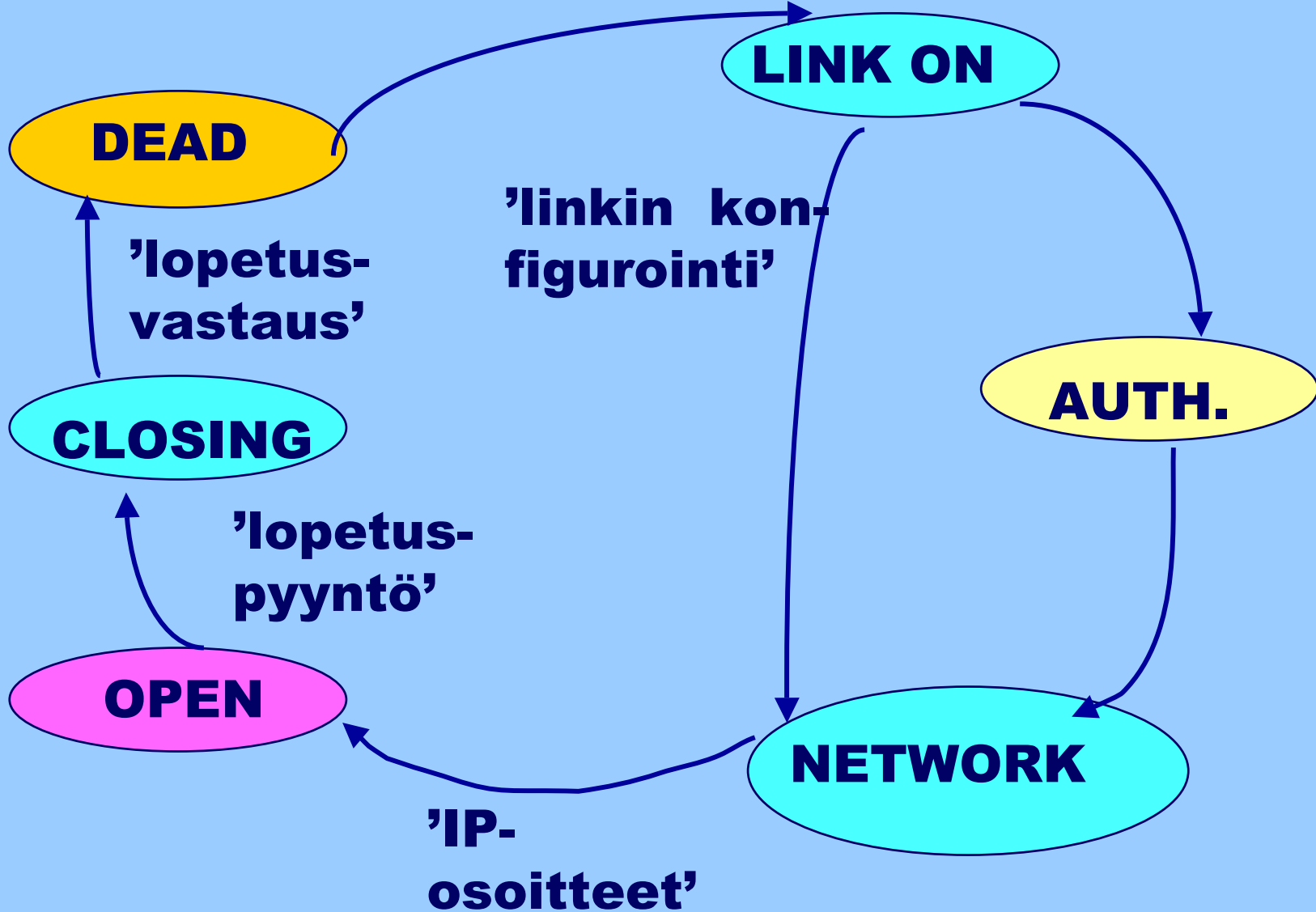
- **LCP (Link Control Protocol)**

- » 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

**'soitto
modeemilla'**



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**

Yhteyden purku

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

Linjayhteyden muodostus

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

- **Open**

- » **tiedonsiirto voi alkaa**

- **Closing**

- » **kun tiedonsiirto suoritettu =>
lopetustilaan**

- » **tästä palataan alkutilaan lopettamalla
kantoaalto**

LCP-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

- **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
- **Siirtoyhteyskerros: kahden solmun välillä**
 - Tarkistukset: CRC
 - MAC: CSMA/CD, CDMA; PPP
 - Ethernet, keskitin, silta, kytkin

Kiitos kestävyydestä!

