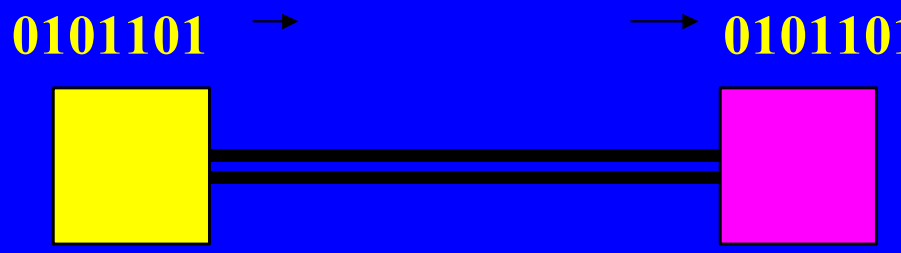
# 5. Siirtoyhteyskerros

## linkkikerros (Data Link Layer)

- yhtenäinen linkki solmusta solmuun
  - bitit sisään => bitit ulos
- ongelmia:
  - siirtovirheet
    - havaitseminen
    - korjaaminen
  - solmun kapasiteetti
    - vuonvalvonta
  - yhteisen kanavan käyttö

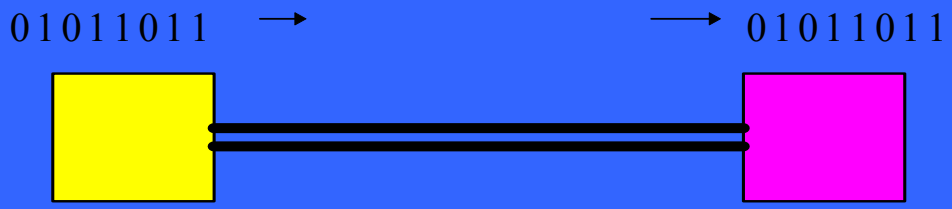


# 5.1. Kaksipisteyhteydet

## Virhevalvonta

* virheiden havaitseminen
* virheiden korjaus

## Vuonvalvonta



# Bittivirta <=>kehyksiä

- tavoite
  - bittivirheiden hallinta
    - muuttuu
    - katoaa
    - monistuu
- bittivirta kehyksinä
- 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

# 5.2. 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 **uudelleenlähetys**

# 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
  - satellittiyhteyksissä, avaruusluotaimissa
- Esimerkkejä
  - Hamming-pariteettitarkistus (Tito-kurssilla)
    - pystyy korjaamaan yhden virheellisen bitin
    - virheryöpyn, jos se jaetaan yhden bitin virheiksi
  - Reed-Solomon -koodit
    - lohkokoodeja , 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 kaksiulotteiseen taulukkoon
- lasketaan pariteetti jokaiselle vaaka- ja pystyriville

| | |
|---|---|
| 1001010 | 1 |
| 0111010 | 0 |
| 1110001 | 0 |
| 1000111 | 0 |
| 0011001 | 1 |
| 1011111 | 0 |

horisontaaliset pariteetit

taulukon pariteetti

vertikaaliset

# Virheiden havaitseminen

- Ei löydä lyhyitä virheryöppyjä, joissa neljä bittiä vaihtuu sopivasti

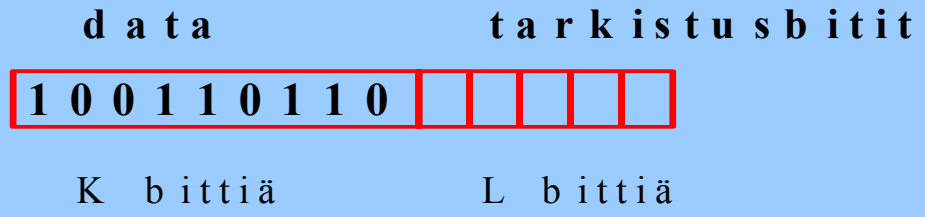
1 0 0 1 0 1 0
0 1 1 1 0 1 0
1 1 1 0 0 0 1
1 0 0 0 1 1 1

# Internetin tarkistussumma

- lasketaan 16-bittisten  sanojen yhden komplementit  yhteen
- otetaan summasta yhden komplementti
- käytetään Intenet-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 (XOR)**

Lähetetään: **101110 011**

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

## 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+…+ x**4 + x**2 + x+1

## CRC: n virheiden havaitsemiskyky

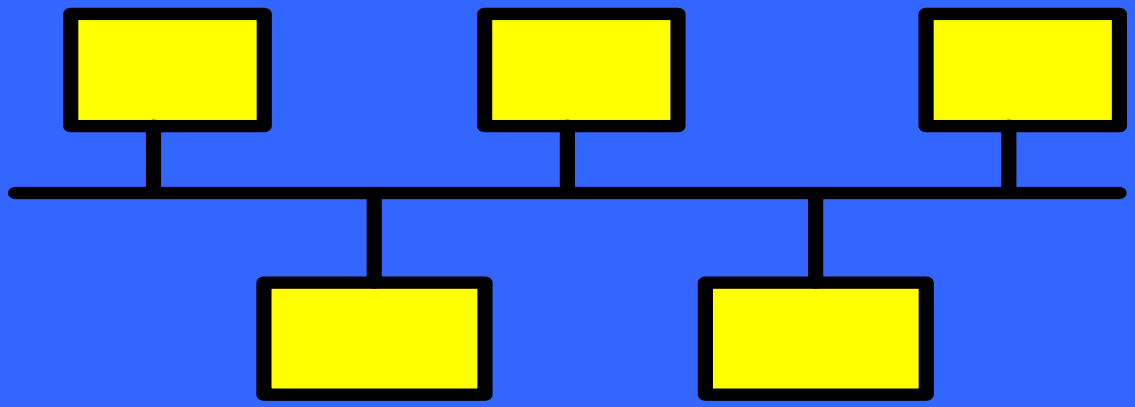
- kaikki virheryöpyt, joiden pituus < tai = kuin virittäjän
- useimmat virheryöpyt, joiden pituus on suurempi
  - CRC-32: P{ryöppy > 33 havaitaan} = 0.9999999998
  - Huom
    - » Arvioinneissa lähtökohtana ollut täysin satunnainen bittien jakautuminen, mutta todellisuudessa näin ei ole!
    - » Joten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

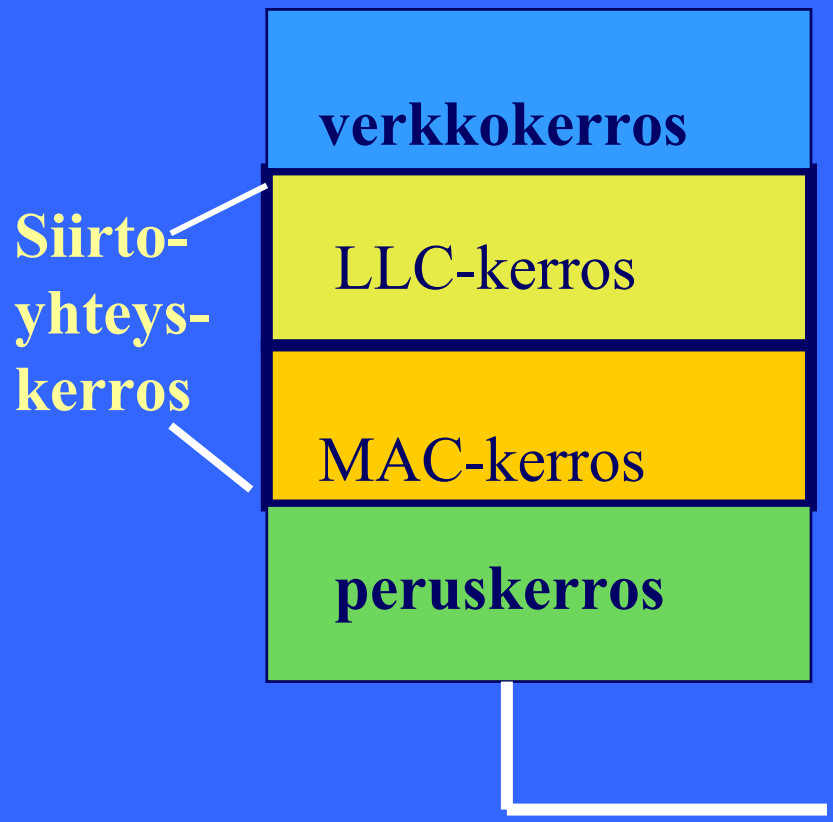
# Vuonvalvonta

- 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

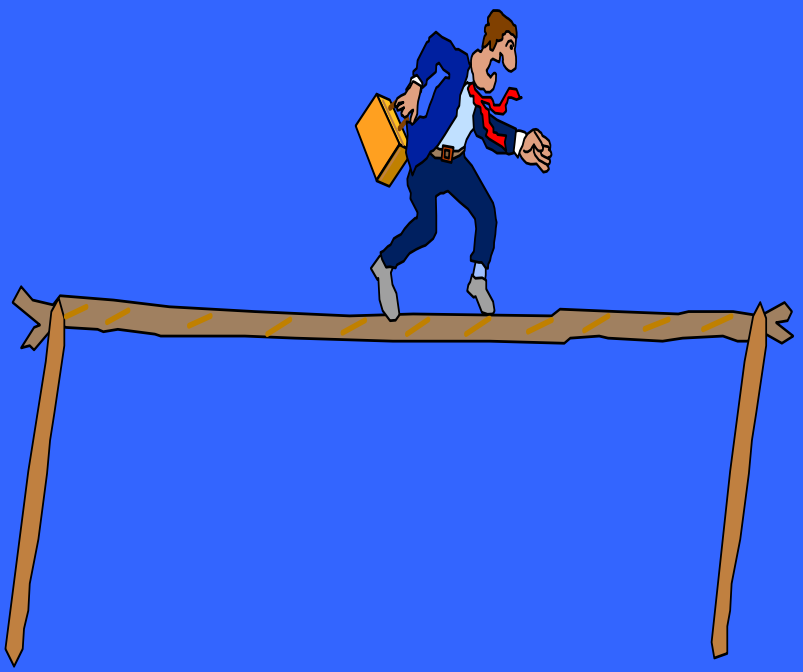
- **yleislähetys (broadcast)**
  - » **multiaccess channel**
  - » **random access channel**
  - – **LAN (Ethernet)**
  - – **langaton**
- **ongelma: käyttövuoron ‘jakelu’**






**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 lähettäjille
  - 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

# 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

- lähetysaika jaettu aikaviipaleiksi
- lähetys voi alkaa vain aikaviipaleen alussa
- törmäykset täydellisiä
  - » lähetykset samassa aikaviipaleessa
  - » törmäysvaara-aika = yhden aikaviipaleen mittainen
- suorityskyky 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

# Väylää kuunneltava

- pahimmassa tapauksessa


- => kehyksen lähetyksen minimikesto:

  2*etenemisviive väylällä

# 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 vuoromerkin seuravalle

# Kanavan jakoprotokollat

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

# 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 ● B = 0 = 1/m ΣAiBi (sisätulo)
- A ● A = 1
- -A ● A = -1
- => 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 ● 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 • C = ( 2 -2 0 -2 0 -2 -4 0)**
  **= -8 => -1**
- eli **C lähetti 0-bitin**

# 5.4. LAN-osoitteet ja ARP

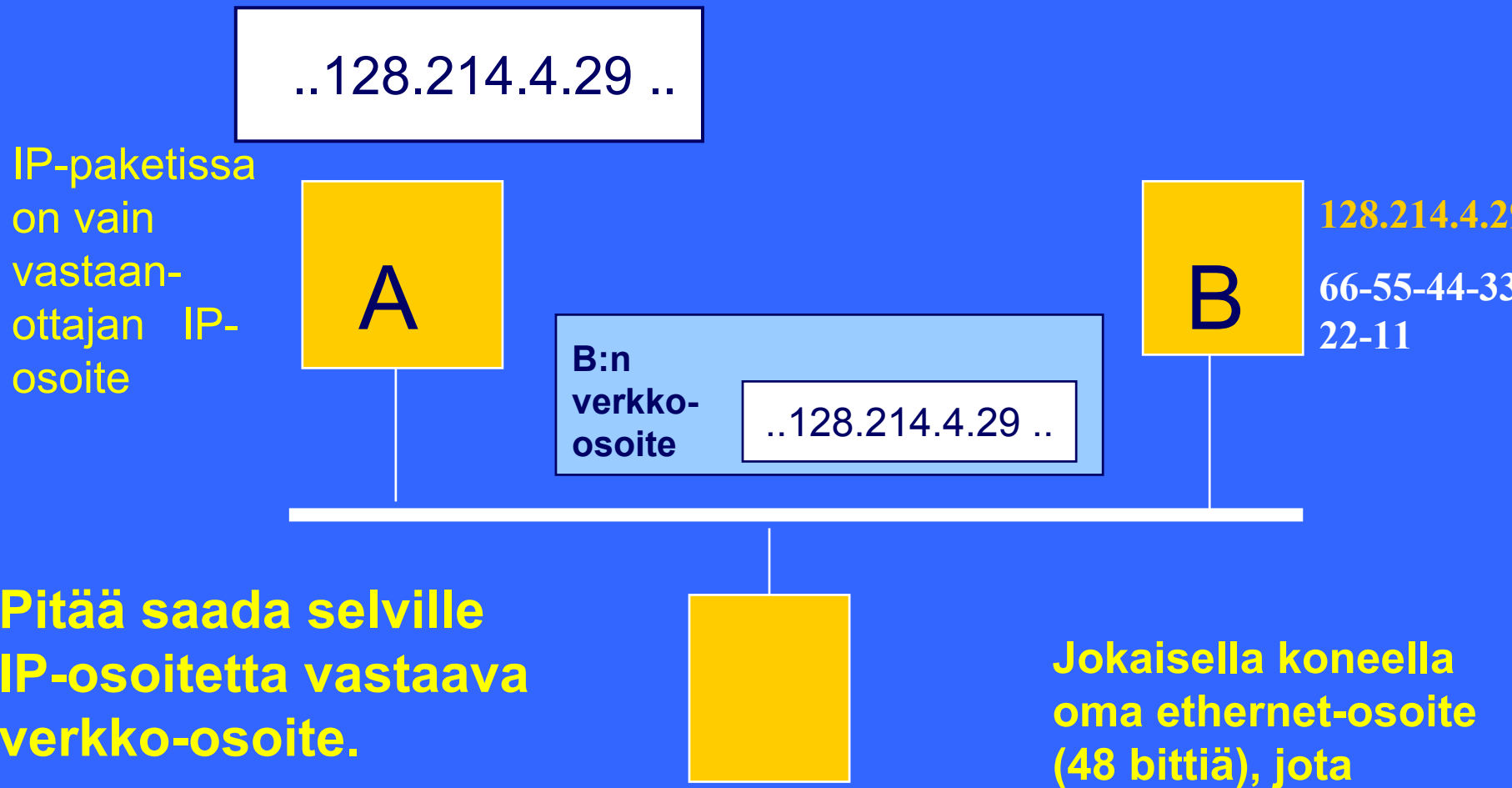
- (lähi)verkko-osoite
  - fyysinen osoite
  - MAC-osoite
- Eetteriverkossa (sovitinkortissa)
  - 48 bittiä
  - joka kortissa oma ainutkertainen pysyvä numero
- lähiverkkoon liitetyt laitteet ymmärtävät vain LAN-osoitteita

# 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 siirtoyhteyskerroksen 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**




**Pitää saada selville IP-osoitetta vastaava verkko-osoite.**

Yleislähetyksenä kysely: ‘Kenen IP-osoite **128.214.4.29** ?”

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

- 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

# 5.5 Ethernet-lähiverkko

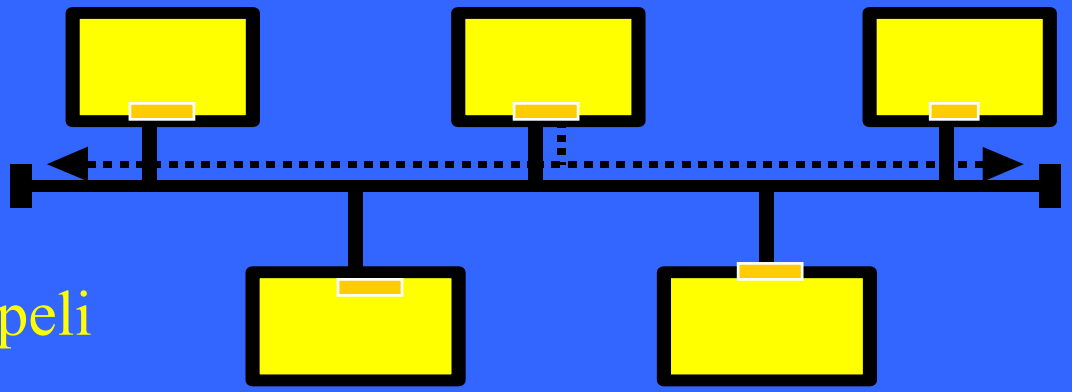
- Yleisin lähiverkkoteknologia
- IEEE:n standardoima LAN-verkko
  - Klassinen Ethernet: CSMA/CD (kuulosteluväylä)
  - Fast Ethernet, Gigabit Ethernet: yleensä kytkentäisiä kaksipisteyhteyksiä
  - 10 Gigabit Ethernet: kaksisuuntaisia, kaksipisteyhteyksiä

- **Muita lähiverkkostandardeja**
  - **esim.**
    - **Token ring (vuororengas)**
    - **FDDI**
    - **WLAN (langaton lähiverkko)**

**ei käsitellä tällä kurssilla**

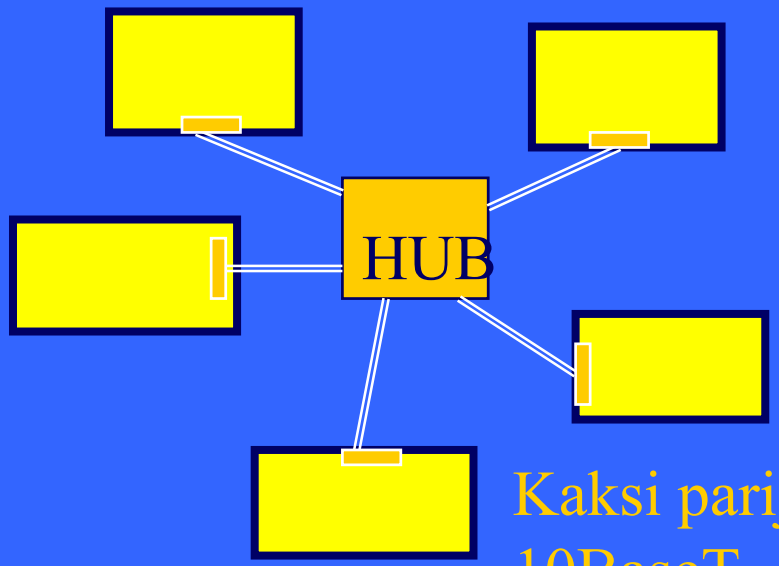
# Eetteriverkon rakenne

- **väylä**



Kaapeli

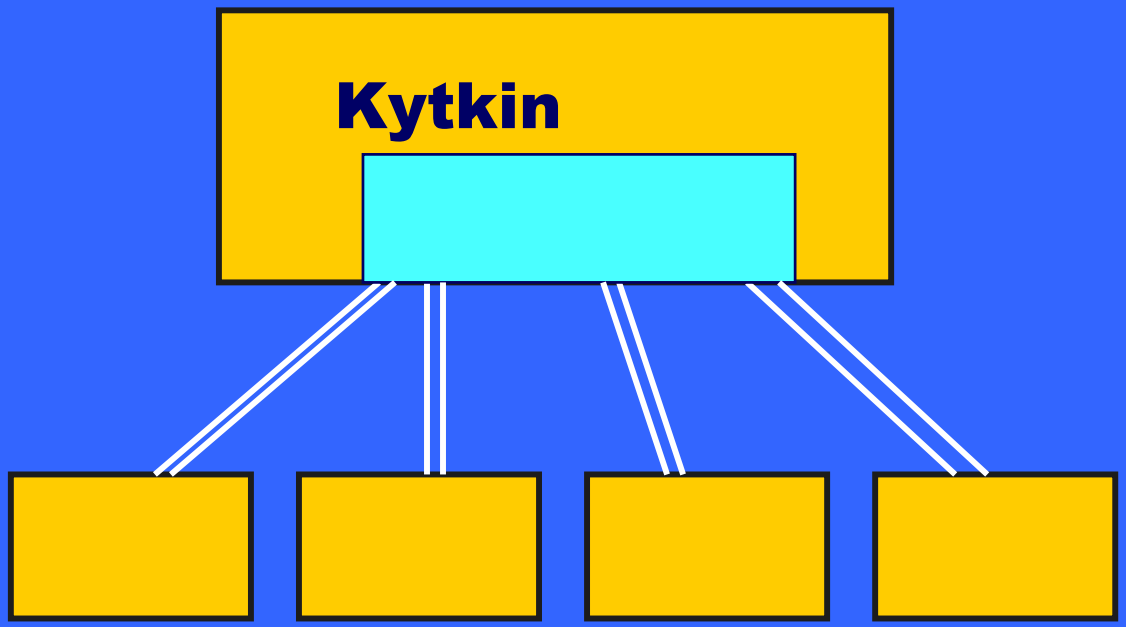
10Base2




- **tähti**

  - hub toimii toistimen tavoin

Kaksi parijohtoa
10BaseT,
100BaseT




**Kytkentäinen, kaksisuuntainen Ethernet:**

**Ei törmäyksiä**

# 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

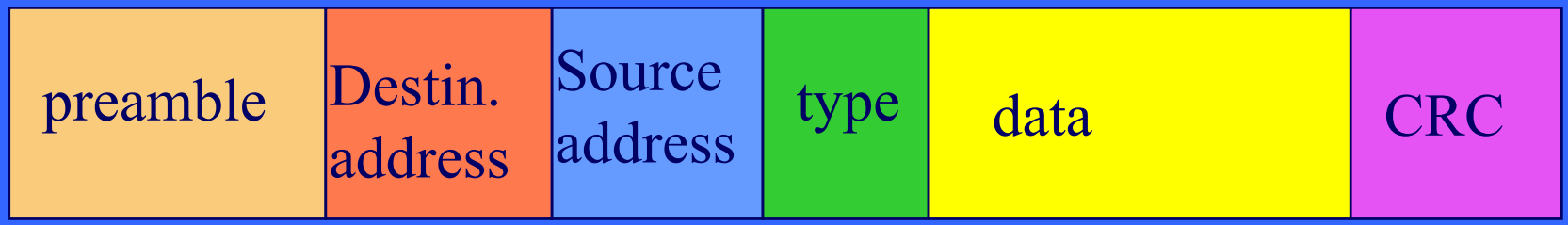
- jos väylä vapaa, lähetetään heti
- muuten jäädään odottaman ja lähetetään heti linjan vapauduttua
- aina kun on lähetetty, jäädään kuuntelemaan, onnistuiko lähetys
- entä kun tapahtuu **törmäys** eli usea samanaikainen lähetys
  - » jännite on suurempi kuin normaalisti pitäisi
  - – keskeytetään lähettäminen

# Törmäyksen jälkeinen uudelleenlähetys

- **Binary exponential backoff**
  - törmäyksen jälkeen aika jaetaan lokeroiksi
    - 51.2 μs 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

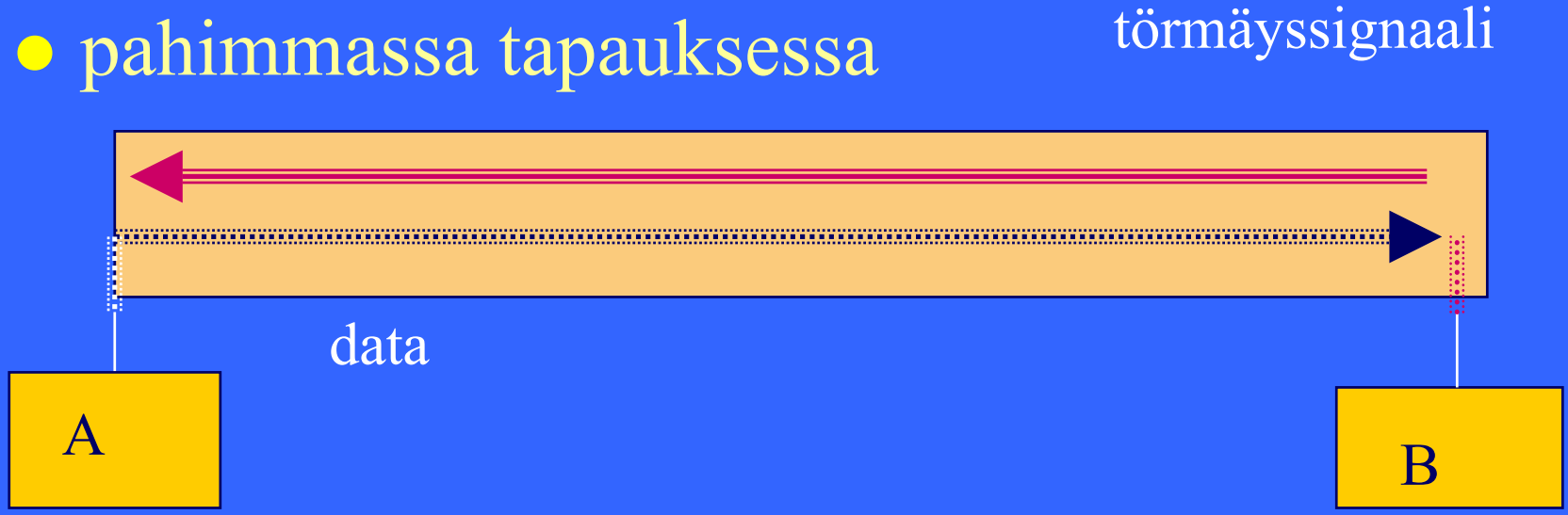
- Type
  - » kertoo käytetyn  verkkoprotokollan tyypin eli mille protokollalle kehyksen data luovutetaan
    - IP, ARP,
    - joku muu verkkoprotokola: AppleTalk, Novell IPX, ..
- CRC
  - » 4 tavua

# kehyksen pituus

- 64-1500 tavua
  - kehyksen pituus vähintään 64 tavua
    - » tarvittaessa täytettä (PAD)
- jotta lähettäjä ehtii havaita kehyksen törmänneen
  - 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 μs**
  - **eli 64 tavua**

# Ethernetin hyvät puolet

- **yleisesti käytetty, yhteensopivuus aikaisempien Ethernet-versioiden kanssa**
- **yksinkertainen protokolla, kevyellä kuormalla lähetysviive nolla**
- **asemien lisääminen helppoa, hallinta yksinkertaista**
- **passiivinen kaapeli, ei modeemia,**
- **kukkaron ja tarpeen mukainen toteutus**
  - **Halpa perusmalli ⇔ huippunopea**
  - **Hyvin erilaisia tenlogioita**

=> markkinajohtaja

# Klassisen Ethernetin huonot puolet

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

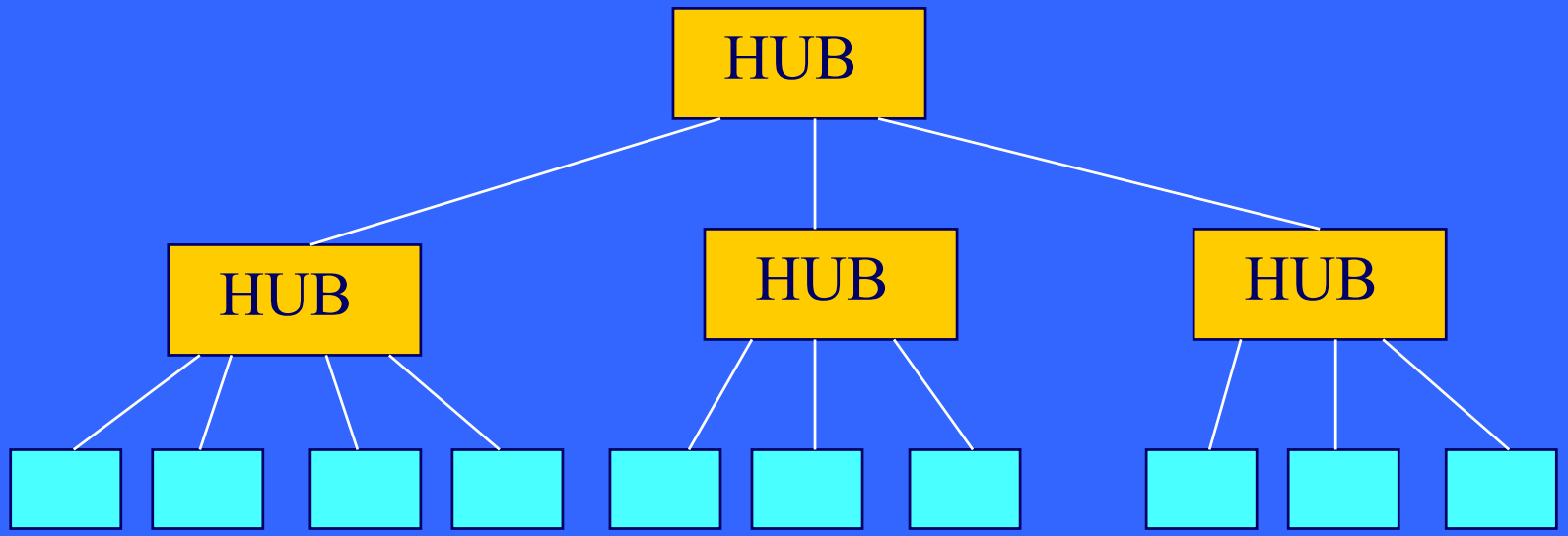
# 5.6 Keskitin (hub), silta (bridge) ja kytkin (switch)

- 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.

# Keskitinyhdistämisen

- 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

# 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 muutoksiin
- eri LANeista voi tulla sanomia yhtäaikaa
  - 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

okaisella
itteella oma
ksikäsittei-
en osoite

| 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

# Siltataulut

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

# Silta käsittelee 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

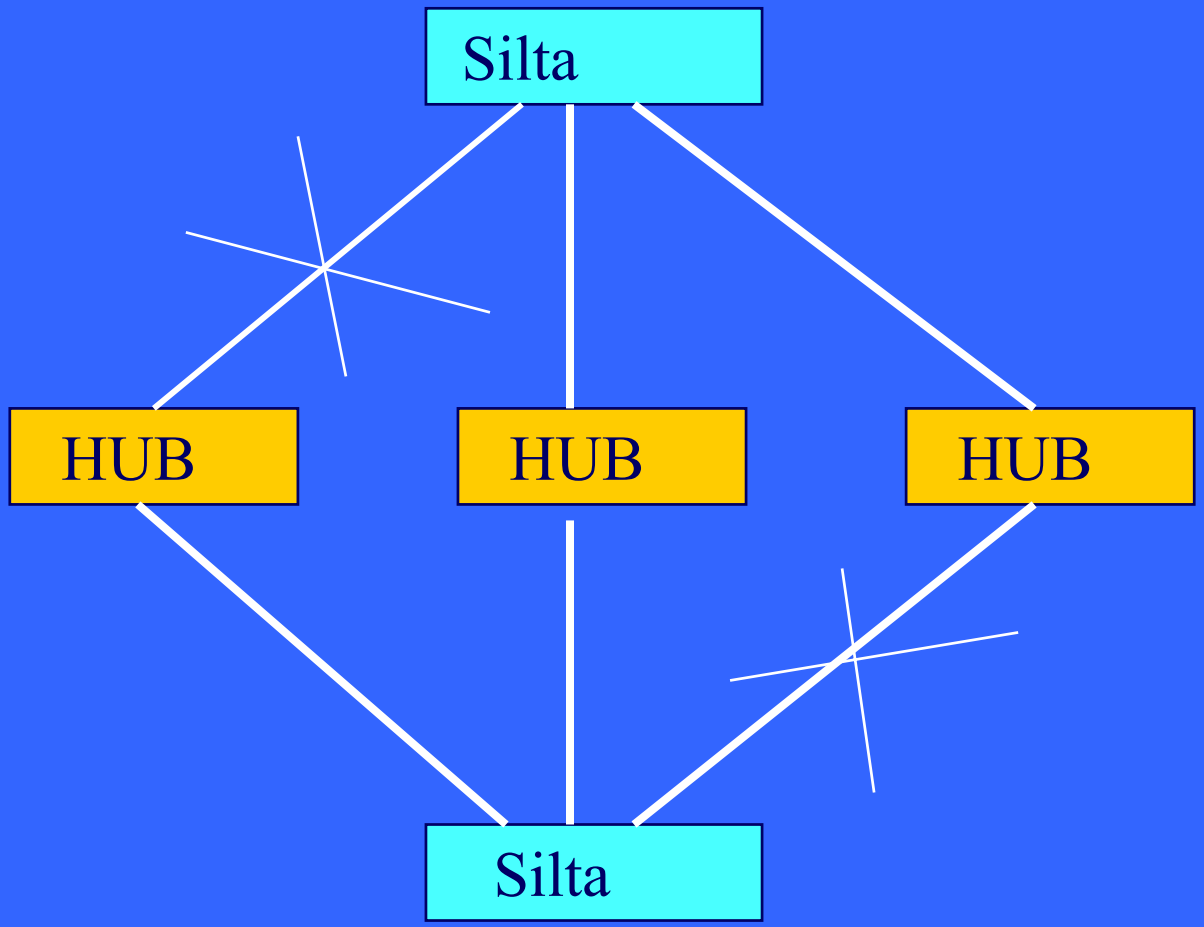
# Tulvitus (flooding)

- 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**


Silta
HUB
HUB
HUB
Silta

# 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 (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!

# Erittäin nopeat lähiverkot
## (High-speed LANs)

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

# 5.7. 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

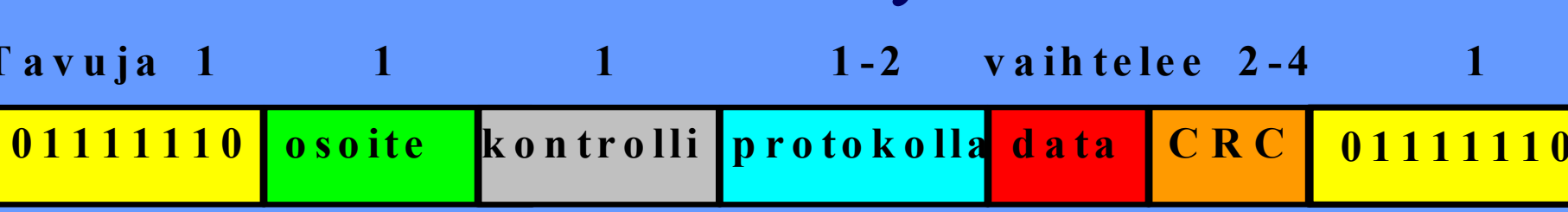
# LLC (Logical Link Control)

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

# PPP (Point-to-Point Protocol)

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

# PPP-kehys



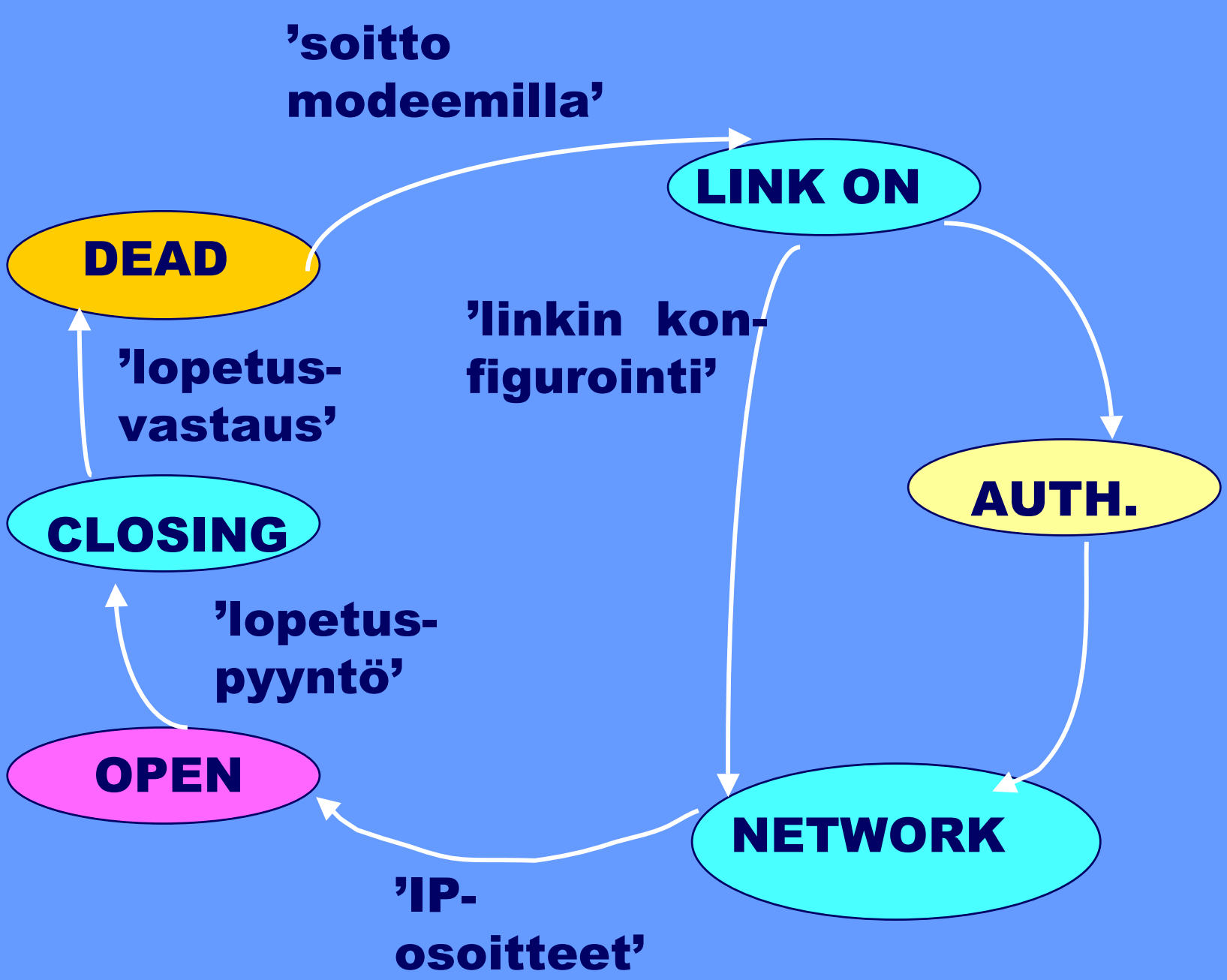

- lipputavu 01111110,
  - tavunlisäys (byte stuffing) DLE = 01111101
- osoitekenttä aina 11111111 (=yleislähetys)
- kontrollikenttä aina 00000011
  - osoite- ja kontrollikenttä voidaan jättää kokonaan pois
- protokolla: mille protokollalle data on tarkoitettu
  - esim. IP, IP:n Control Protocol, PPP:n Link Control Protocol
- data: sisältää ylemmälle protokollalle tarkoitettua dataa
  - maksimi sovitaan, oletusmaksimi 1500 tavua
- CRC: tarkistusbitit;

# Tavunlisäys

**jos datassa on lipputavu 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'
LINK ON
DEAD
'linkin kon-figurointi'
'lopetus-vastaus'
AUTH.
CLOSING
'lopetus-pyyntö'
OPEN
NETWORK
'IP-osoitteet'

# 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 LPC-optioista
- Authenticate
  - » osapuolet varmistuvat toistensa identiteetistä
- Network
  - » NCP konfiguroi verkkokerroksen

- Open
  - » tiedonsiirto voi alkaa
- Closing
  - » kun tiedonsiirto suoritettu => lopetustilaan
  - » tästä palataan alkutilaan lopettamalla kantoaalto

# 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

- 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
  - MAC: CSMA/CD, CDMA; PPP
  - Ethernet, silta

# Kiitos kestävyydestä!