



HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Networking Laboratory

# S-38.1105

# Tietoliikennetekniikan perusteet

---

Luento 3

Siirtotiet. OSI kerrokset 1 ja 2.



# Luennon aiheet

---

- Kertausta
  - OSI-malli
- OSI-mallin 1. kerros (fyysinen kerros)
  - Siirtotiet: kuparikaapeli, valokuitu, radiolinkit
- OSI-mallin 2. kerros (siirtoyhteyskerros)
  - vuonohjaus
  - virheenkorjaus
  - vuoronvarausmenettelyt



# Kertausta: OSI-malli

---

**7: Sovelluskerros (Application layer)**

**6: Esitystapakerros (Presentation layer)**

**5: Istuntokerros (Session layer)**

**4: Kuljetuskerros (Transport layer)**

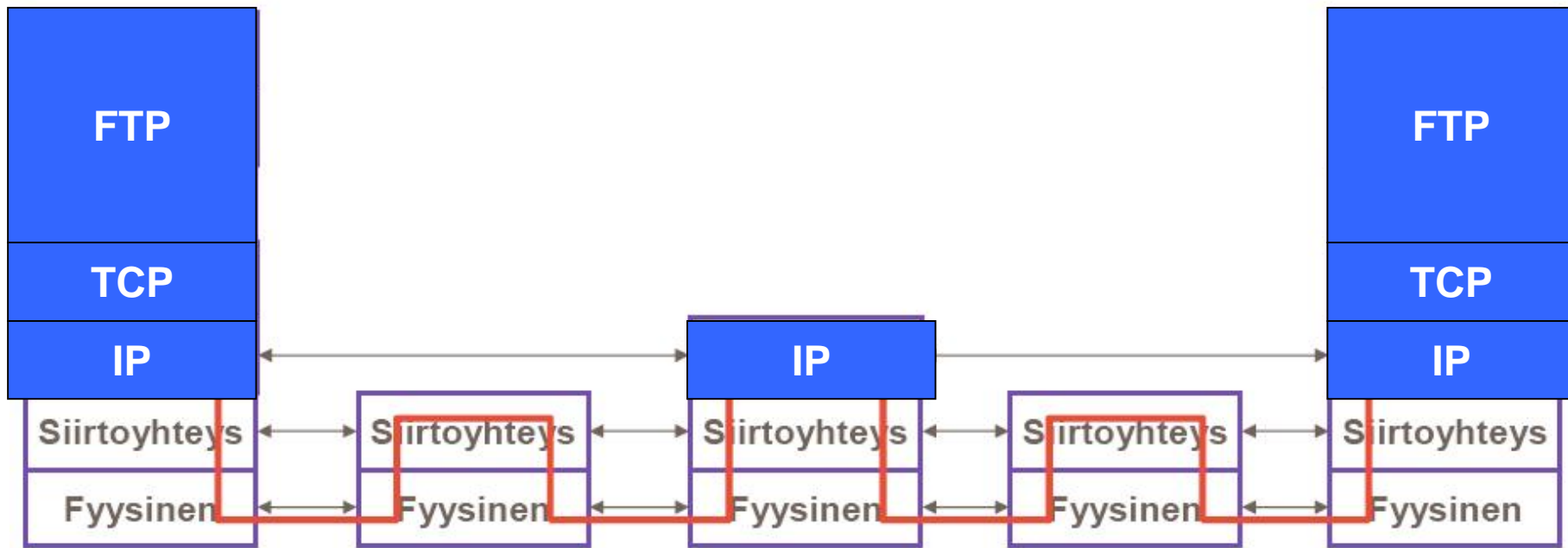
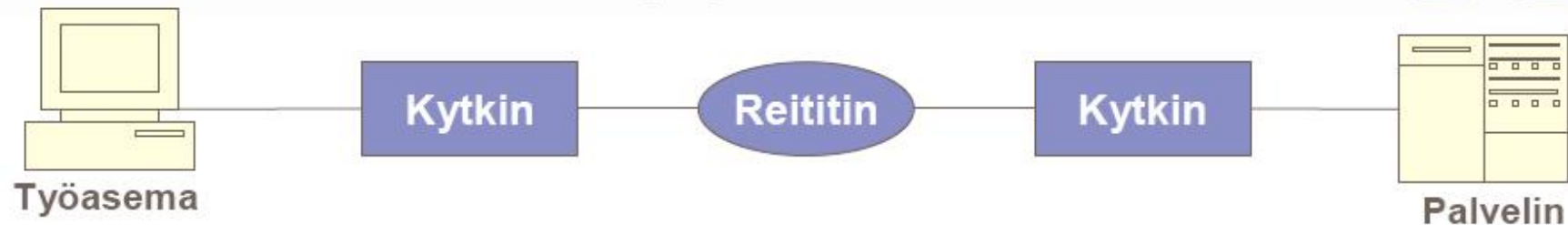
**3: Verkkokerros (Network layer)**

**2: Siirtoyhteyskerros (Data link layer)**

**1: Fyysinen kerros (Physical layer)**



# OSI-malli, esimerkki





HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Networking Laboratory

# Fyysinen kerros ja siirtotiet

---



# Fyysinen kerros

---

- (Physical layer)
- Määrittelee konkreettisia, mitattavia asioita
  - Liittimet, johdot, sähköiset tasot
  - Muut kerrokset sisältävät ohjelmistomäärittelyitä
- Siirtotie = signaalin sähköinen tai optinen kulkutie
  - Kuparikaapeli, valokuitu tai radiolinkki



# Avojohto

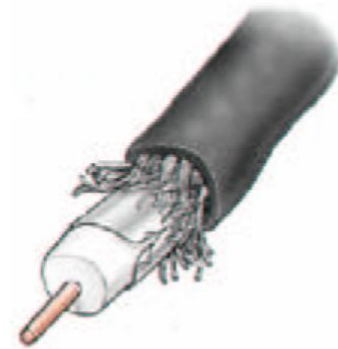
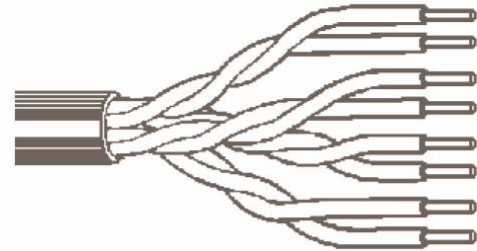
---

- Eli eristämätön johdin
  - Aluksi pelkkää terästä, myöhemmin kuparipäällysteistä terästä
  - Langalle kertyvä huurre muuttaa johdon sähköisiä ominaisuuksia
- Yksilankaiset avojohdot
  - Käytettiin ensimmäisissä puhelinverkoissa
  - Paluujohdtimeksi toimi maa >> epäsymmetrinen, herkkä häiriöille
- Avojohtinparit (kaksoisjohto)
  - Käyttöön 1900-luvun alussa
  - lisättiin toinen johto paluujohdtimeksi
  - yhteyksien laatu parani, mutta edelleen ongelmia
    - resistanssi: signaalin teho muuttui lämmöksi
    - kapasitanssi: signaali oikaisee eikä saavuta vastapäätä
    - johtimen magneettikenttä indusoi virran viereisessä johtimessa >> ylikuuluminen >> ongelma väheni johtimien vuorottelulla
- Poistuneet käytöstä lähestulkoon kokonaan



# Kaapeli

- Useita eristettyjä johtimia käärittynä saman vaipan sisälle
  - Voidaan sijoittaa vapaammin kuin avojohto, esim. maan alle
  - Mahdollisuus lisätä vaippaan häiriösuojaus
- Kierretty parikaapeli (Twisted pair)
  - kaksi toistensa ympäri kierrettyä eristettyä johdinta, ympärillä muovivaippa
  - kiertäminen vähentää ulkoisten häiriöiden vaikutusta
  - Kolme päätyyppiä: UTP, FTP, STP
  - Puhelinjohdot, lähiverkot (nyk. Ethernet)
- Koaksiaalikaapeli
  - Kaksi eristettyä johdinta sisäkkäin
  - Antenniverkot, lähiverkot (alkup. Ethernet)







# Valokuitu

---

- Materiaali kvartsilasia tai muovia
  - Idea keksittiin 1966, ensimmäiset kuidut valmistettiin 1970
- Siirrettävä signaali valoa
  - Sähköinen signaali muutetaan valoksi LED- tai laserlähettimillä
  - Valo pysyy kuidun sisällä kokonaisheijastuksen avulla, kuoren ja ytimen välillä oltava riittävän suuri taitekerroinero
  - Numeerinen aukko: valonsäteen suurin tulokulma, jolla valonsäde lähtee etenemään kuidun ytimessä
  - Valo "hajaantuu" kuidussa (dispersio)
  - Kuidun taitekerroinprofiilin ja siitä seuraavan valon etenemistavan mukaan kuidut jaetaan eri tyyppeihin
- Käyttökelpoinen sekä lähiverkoissa että pitkissä runkoyhteyksissä



# Valokuidun rajoitukset

---

- Kaistanleveyttä rajoittaa lähinnä dispersio
  - Eri kulmassa heijastuvat valonsäteet kulkevat kuidussa eri matkan
  - Eritajuiset valonsäteet kulkevat kuidussa eri nopeudella
- Siirtoetäisyyttä rajoittaa vaimennus
  - Vaimennus riippuu aallonpituudesta ja yleisesti ottaen pienenee aallonpituuden kasvaessa (eli taajuuden alentuessa)
  - Kuidun aiheuttama vaimennus
    - Absorptio (esim. hydroksidi-ionien aiheuttama vesipiikki)
    - Sirona (muutokset lasin tiheydessä, lasiseoksen epätasaisuudet, kuidun taivuttamisesta johtuvat jännitykset ja kuplat)
    - Taivutushäviöt (valonsäde karkaa kuidun sisältä)
  - Liitosten aiheuttama vaimennus



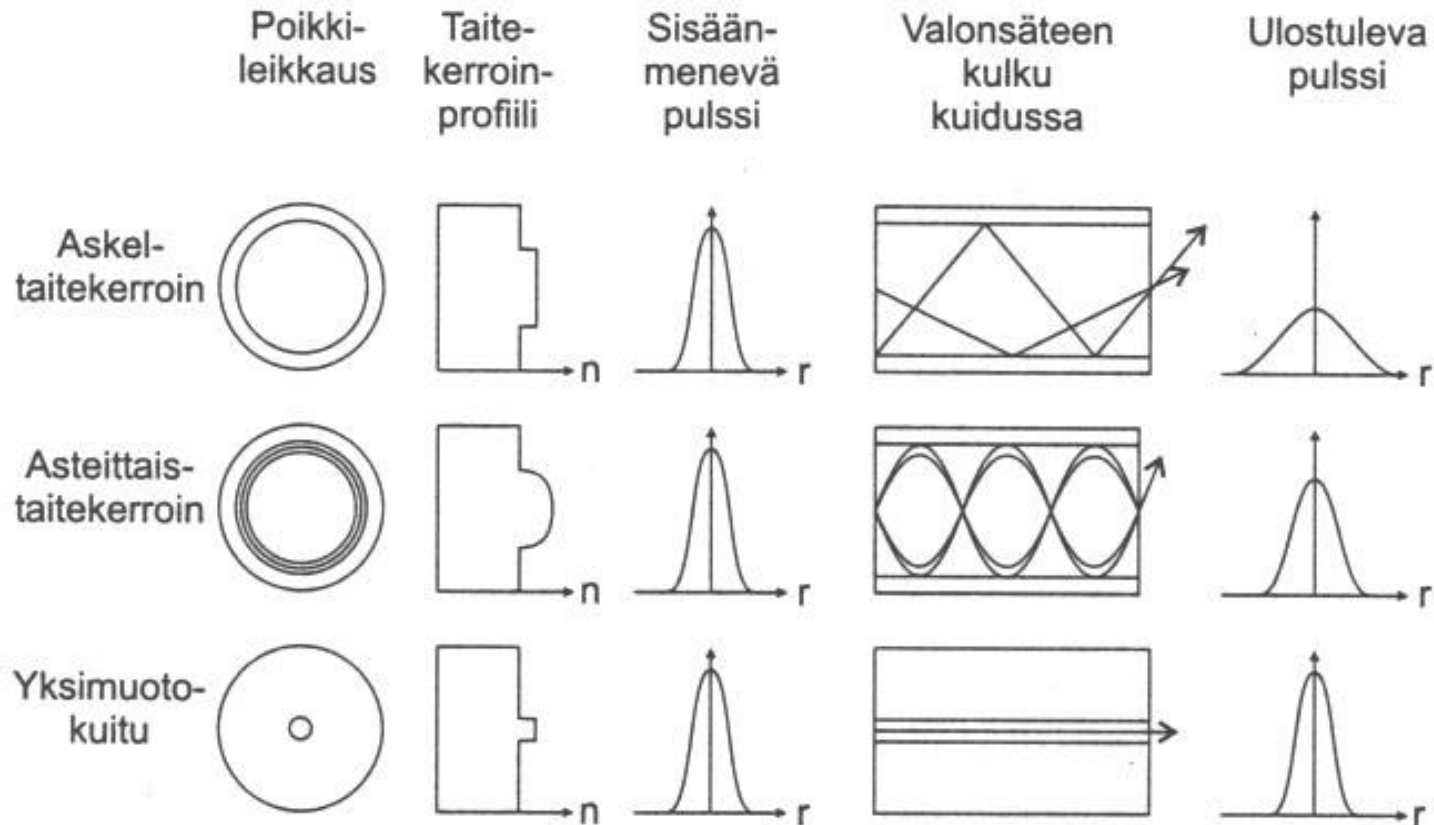
# Kuitutyypit

---

- Yksimuotokuitu
  - Ytimen ja kuoren välinen taitekerroin ja ytimen pieni halkaisija sallivat vain yhden muodon etenemisen
  - Ei dispersiota, pienin vaimennus
- Monimuotokuidut
  - Askeltaitekertoiminen kuitu
    - Taitekerroin muuttuu ytimen ja kuoren välillä hyppäksenomaisesti
    - Ytimen halkaisija suuri verrattuna valon aallonpituuteen -> valosta etenee monta eri muotoa -> muotodispersio
  - Asteittaistaitekertoiminen kuitu
    - Ytimen taitekerroin muuttuu asteittaisesti kuorta kohti -> valonsäteet kaartuvat jyrkän heijastumisen sijasta
    - Valo etenee useissa eri muodoissa, mutta reunoilla valon nopeus on suurempi kuin keskiosassa -> muotodispersio melko vähäistä



# Kuitutyypit (2)



Kuva: Willa & Uusitupa, 2001: Tietoliikenneaapinen



# Valokuidun edut ja haitat

---

- Edut kuparikaapeleihin nähden:
  - Immuuni sähkömagneettisille häiriöille, ei säteile ulospäin (ei ylikuulumista, salakuuntelua)
  - Siirtohäviöt pienet >> toistinväli jopa satoja kilometrejä
  - Leveä kaista, korkeat kanta-aaltotaajuudet >> suuri siirtokapasiteetti
- Haitat:
  - Kuidun, lähettimien ja ilmaisimien teko vaativaa >> kalliimpi hinta
  - Asennus ja ylläpito haastavaa
  - Herkästi rikkoontuvaa kuparijohtoihin verrattuna



# Radiolinkit

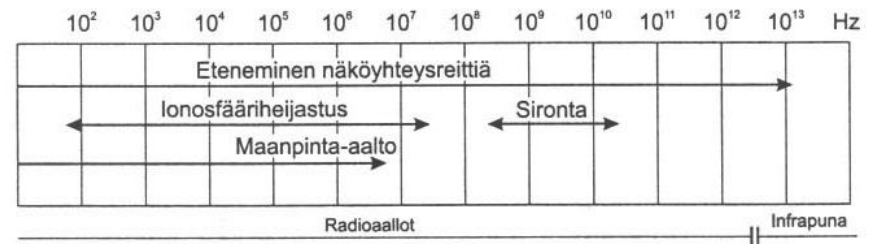
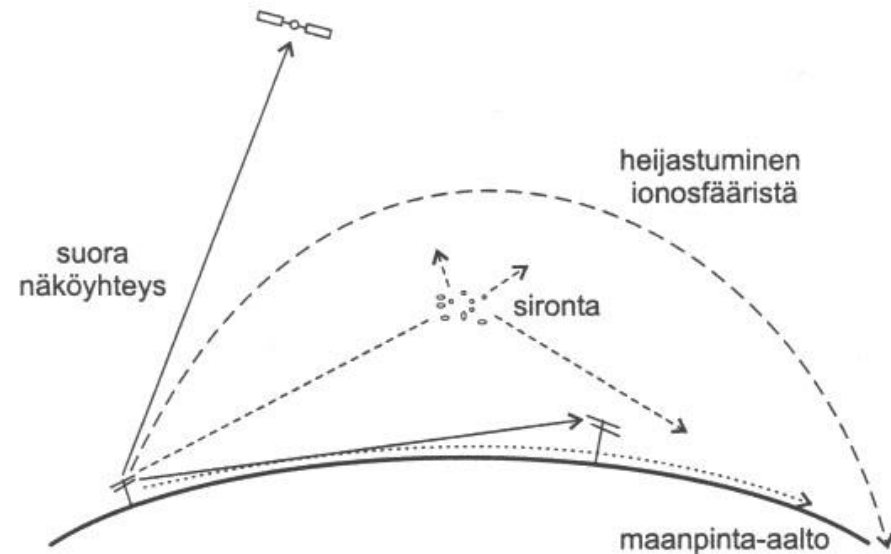
---

- Vapaa tila, ilmatie, langaton siirtotie...
- Edut:
  - "halpa" - ei johdonvetokustannuksia
  - liikkuvat päätelaitteet, yhteys mahdollinen lähes missä vain
- Rajoitukset:
  - viestin salakuuntelu ja häirintä helppoa >> turvallisuus ratkaistava
  - käyttökelpoisia radiotaajuuksia rajatusti, käytöstä sovittava kansainvälisesti
  - siirto-olosuhteet vaihtelevat (sääilmiöt, magneettiset myrskyt)



# Radioaaltojen eteneminen

- Maanpinta-aalto
  - $> 10$  MHz
  - Optimiolosuhteissa tuhansia kilometrejä
- Heijastuminen ionosfääristä
  - $< 30$  MHz
  - Jopa maapallon ympäri, mikäli aalto heijastuu uudelleen maanpinnasta
- Sironta
  - 300 MHz – 10 GHz
- Suora näköyhteys
  - Korkeatkin taajuudet
  - Muita tapoja luotettavampi, pääasiallinen etenemistapa teletekniikassa





HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Networking Laboratory

# Siirtoyhteyskerros

---





## 2. kerros - yleistä

---

- (Data link layer)
- Ratkaistava asioita:
  - Yhteyden muodostus kahden solmun välille
  - Vuonohjaus
  - Virheiden käsittely
  - Vuoronvarausmenettelyt
- Samoja tehtäviä (kuten virheenkorjausta ja vuonohjausta) tehdään myös muilla kerroksilla



# Vuonohjaus (flow control)

---

- Kuinka paljon tietoa kerralla voi lähettää?
  - Tapahtuu yhteyden aikana
  - Pyrkii estämään tiedon katoamisen siirron aikana puskurien täyttymisen takia: vastaanottaja estää lähettäjä lähettämästä liikaa tietoa kerralla
- Menetelmiä:
  - Lähetetään yksi viesti kerrallaan ja odotetaan vastaanottajalta kuittausta ennen seuraavan viestin lähetystä (stop-and-wait)
  - Lähetetään useita viestejä kerrallaan; kuittausta odottavien viestien lukumäärän määrää ns. liukuva ikkuna (sliding window)



# Virheet

---

- Esiintyvät joko yksittäin (single-bit error) tai purskeina (burst error)
- Voivat johtua esim. tahdistusvirheistä tai kohinasta ja häiriöistä
  - Kohinan määritelmä: mikä tahansa ei-toivottu satunnainen signaali, joka summautuu mitattavaan signaaliin tai häiritsee haluttua signaalia
  - Aiheutuu laitteen tai materiaalin fysiikasta (esim. lämpökohina)
  - Häiriöt joko luonnollisia (esim. revontulet) tai ihmisen aikaansaamaa (esim. 50 Hz:n sähköverkkojen aiheuttama häiriö, radiolähetteet)
  - >> Joka tapauksessa virheitä tulee aina



# Virheiden käsittely (error control)

---

- Virheiden havainti (engl. error detection)
  - Tavoitteena havaita virheet ja tämän jälkeen joko
    - lähettää virheelliset merkit tai viestit uudelleen (retransmission)
    - hylätä viallinen viesti
    - korjata viallinen viesti
  - Virheenhavaintimenetelmiä:
    - kaiutus
    - pariteettitarkistus
    - tarkistussumma
- Virheenkorjaus (engl. error correction)
  - pyritään sisällyttämään viesteihin niin paljon toistoa, että virheelliset bitit voidaan paitsi havaita myös korjata



# Vuoronvarausmenettelyt (access control)

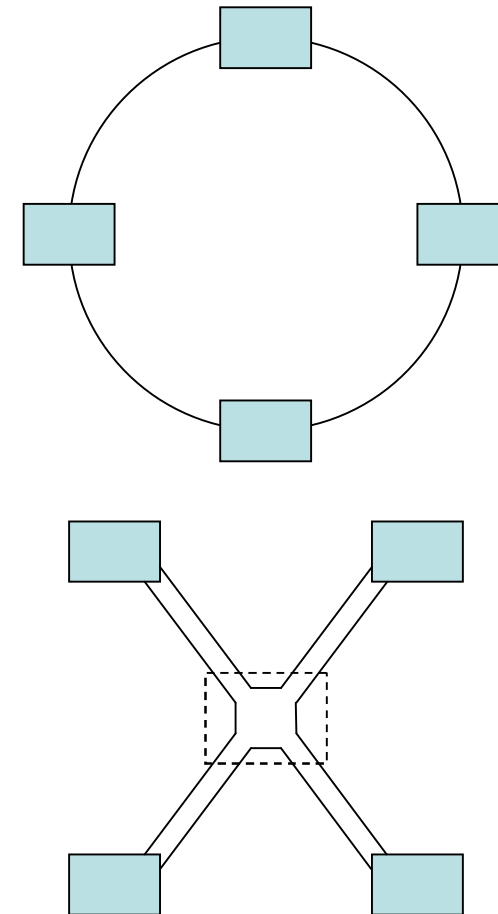
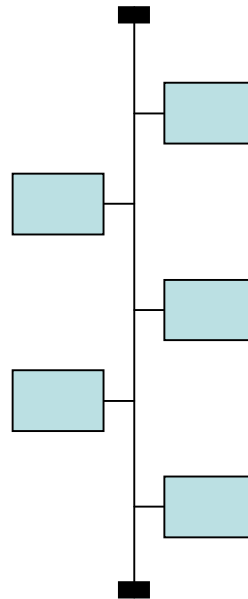
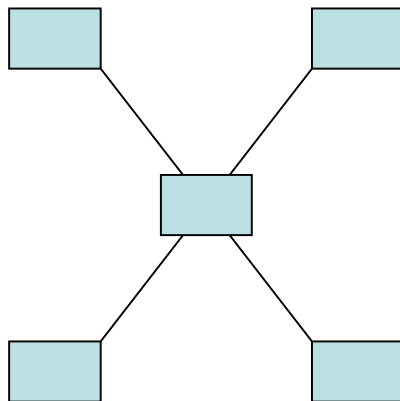
---

- Kenen vuoro lähettää?
  - Kahdenvälisellä linkillä: varmistetaan, että vastaanottaja on toimintakunnossa ja valmis vastaanottoon
  - Monta tasa-arvoista laitetta jakaa saman siirtotien >> tarvitaan hienostuneempia menetelmiä siirtoyhteyden jakamiseksi
- Sopivin menetelmä riippuu verkon rakenteesta
  - Kilpavarausperiaate: lähetyshaluiset asemat kilpailevat lähetysvuorosta
  - Valtuudenvälitysperiaate: verkossa kiertää valtuus (token), jonka nappaamalla asema saa lähetysvuoron itselleen



# Verkkotopologioita

- Esim. tähti, väylä, rengas
  - Fyysinen vs. looginen rakenne





# Kilpavarausperiaate

---

- CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) –algoritmi
  - Asema voi lähettää vain, kun se ei kuule verkossa muuta liikennettä
  - Törmäyksen tunnistus >> uudelleenlähetys satunnaisen viiveen jälkeen
- Sopii verkkoon, jossa asemat joutuvat kilpailemaan yhteisestä siirtotiestä (esim. radiotie, väyläverkko)
  - Kilpavarausperiaate tasa-arvoinen: kaikilla asemilla yhtä hyvä tai huono todennäköisyys saada lähetysvuoro
  - liikenteen määrän kasvaessa kasvaa todennäköisyys, että kaksi asemaa yrittää lähettää yhtä aikaa >> verkon välityskyky pienenee (Ethernet-verkossa noin  $0,4 \cdot$  verkon siirtonopeus)
- Käytetään mm. Ethernetissä (perusmuodossa väylätopologia) ja WLAN:eissa (hieman muunneltuna >> CSMA/CA)



# Valtuudenvälityspeeriaate

---

- Verkossa kiertää valtuus (engl. token), jonka haltijalla on lähetysvuoro
- Käytetään sekä rengas- että väylätopologiassa
  - Token Ring (IEEE 802.4) fyysisesti rengasverkko >> ei törmäyksiä, ennakoitava viive lähetysvuoron saamisessa
  - Token Bus (IEEE 802.5) yhdistelmä Ethernet- ja Token Ring-verkkoja (fyysisesti väylätopologia, jossa kiertää valtuus loogisen renkaan mukaisesti) >> ei törmäyksiä, ennakoitavat viiveet >> käytetään teollisuusautomaatiosovelluksissa