



HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Networking Laboratory

# S-38.105

## Tietoliikennetekniikan perusteet

---

Luento 6  
Siirtotiet. OSI kerrokset 1 ja 2.



## Luennon aiheet

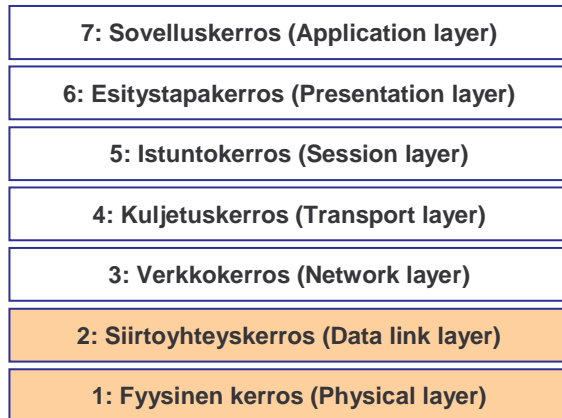
---

- Kertausta
  - OSI-malli
- OSI-mallin 1. kerros (fyysinen kerros)
  - Siirtotiet: Kuparikaapeli, valokuitu, ilmatie
- OSI-mallin 2. kerros (siirtoyhteyskerros)
  - Yhteyden muodostus kahden solmun välillä
  - Fyysinen osoitteistus
  - Vuonohjaus
  - Virheenkorjaus
  - Vuoronvarausmenettelyt (access control)

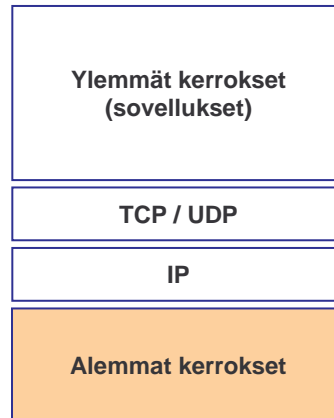


# Kertausta: OSI-malli

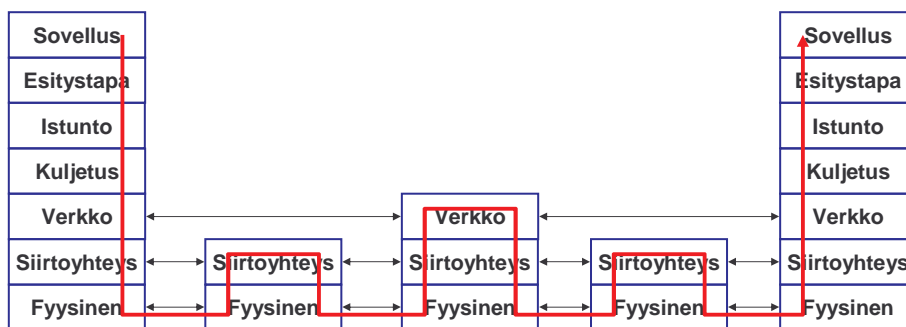
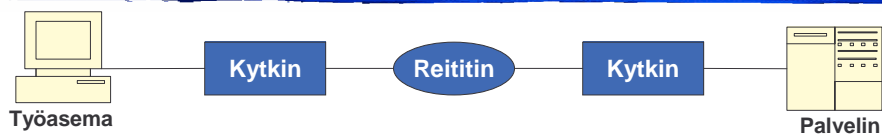
OSI-malli:



Esim. TCP/IP-pino:



# OSI-malli, esimerkki





## 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 ilmatie



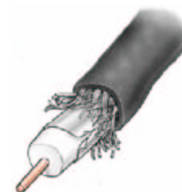
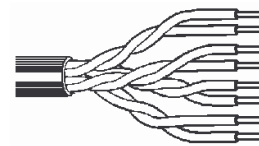
## Avojohto

- Eli eristämätön johdin
  - aluksi pelkkää terästä, myöhemmin kuparipäällysteistä terästä
  - langalle kertyvä huurre muuttaa johdon sähköisiä ominaisuuksia
- Yksilankaiset avojohdot
  - ensimmäisissä puhelinverkoissa
  - paluujohdina toimi maa >> epäsymmetrinen, herkkä häiriöille
- Avojohtinparit (kaksoisjohto)
  - käyttöön 1900-luvun alussa
  - lisättiin toinen johto paluujohdimeksi
  - 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
  - Kaksi toistensa ympäri kierrettyä eristettyä johdinta, ympärillä muovivaippa
  - Kiertäminen vähentää ulkoisten häiriöiden vaikutusta
  - Kolme päätyyppiä: UTP, FTP, STP
  - Puhelinjohdot, kaiutinkaapelit, lähiverkot (Ethernet)
- Koaksiaalikaapeli
  - Kaksi eristettyä johdinta sisäkkäin
  - Antennikaapelit, lähiverkkokaapelit (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 kokonaisuheijastuksen 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 tyypeihin
- Käyttökelpoinen sekä lähiverkoissa että pitkissä runkoyhteyksissä



## Valokuidun rajoitukset

- Kaistanleveyttä rajoittaa lähinnä dispersio
- Siirtoetäisyyttä rajoittaa vaimennus
  - Vaimennus riippuu aallonpituudesta ja yleisesti ottaen pienenee aallonpituuden kasvaessa (eli taajuuden alentuessa)
  - Kuidun aiheuttama vaimennus
    - absorptio (esim. hydroksidi-ionien aiheuttama vesipiikki)
    - sironta (muutokset lasin tiheydessä, lasiseoksen epätasaisuudet, kuidun taivuttamisesta johtuvat jännitykset ja kuplat)
    - taivutushäviöt (valonsäde karkaa kuidun sisältä)
  - Liitosten aiheuttama vaimennus

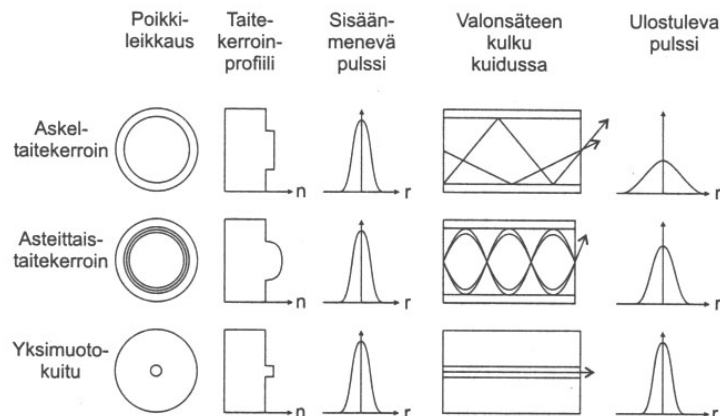


## Kuitutyypit

- 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 hyppäyksenomaisesti
    - 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 kantoaaltotaajuudet >> suuri siirtokapasiteetti
- Haitat:
  - Kuidun, lähettimien ja ilmaisimien teko vaativaa >> kalliimpi hinta
  - Asennus ja ylläpito haastavaa
  - Herkästi rikkoontuvaa kuparijohtoihin verrattuna



## Ilmatie

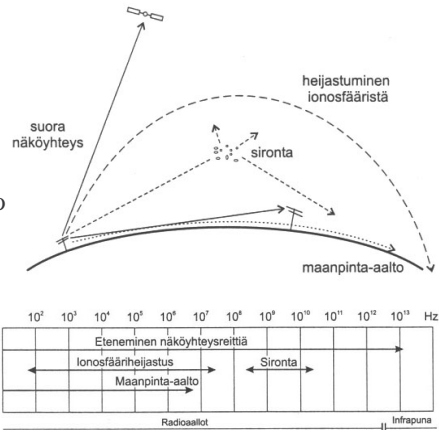
---

- Vapaa tila, radiotie, 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 sovitava 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



Kuvat: Willa & Uusitupa, 2001: Tietoliikenneaapinen



# Siirtoyhteyskerros





## Siirtoyhteyskerros

---

- (Data link layer)
- Ratkaistavia asioita:
  - Yhteyden muodostus kahden solmun välillä
  - Fyysinen osoitteistus
  - Vuonohjaus
  - Virheiden käsittely
  - Vuoronvarausmenettelyt
- Todellisuudessa verkkototeutukset eivät noudata OSI-jakoa kirjaimellisesti
- Samoja tehtäviä (kuten virheidenkorjausta 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 lähettäjää 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
  - Kilpavarauksperiaate: lähetyshaluiset asemat kilpailevat lähetysvuorosta
  - Valtuudenvälityksperiaate: verkossa kiertää valtuus (token), jonka nappaamalla asema saa lähetysvuoron itselleen
  - Muita tapoja: FDMA, TDMA, CDMA



## Kilpavarauksperiaate

- CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) –algoritmi
  - sopii verkkoon, jossa asemat joutuvat kilpailemaan yhteisestä siirtotiestä (esim. radiotie, väyläverkko)
  - kilpavarauksperiaate 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 väylätologiassa
  - 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 väylätologia, jossa kiertää valtuus loogisen renkaan mukaisesti) >> ei törmäyksiä, ennakoitavat viiveet >> käytetään teollisuusautomaatiosovelluksissa