

Langaton tietoliikenne 1

Radiokanavan/langattoman tiedonsiirron ongelmia:

- Heijastuminen, taistuminen, hajaantuminen.
- Monitie-eteneminen -> häipyminen.
- Häiriöt muista lähteistä.
- Taajuudet rajattuja.
- Yleensäkin ominaisuuksien suuri vaihtelu (viiveet, häiriöt, kaistanleveys, jne).
- Liikkuva käyttäjä (Doppler).

Langattoman puhelinverkon rakenne:

- Koostuu soluista. Solusta toiseen siirtyessä tarvitaan Hand-over, jotta yhteys ei katkea.
- Taajuuksia, koodeja, aikaikkunoita voidaan käyttää uudelleen eri soluissa.
- Käyttäjät voidaan erottaa toisistaan taajuuden, aikaikkunoiden, koodin ja/tai sijainnin mukaan.

Käyttäjien erottelu (*Multiple Access*)

- Multiple Access = useampi käyttäjä yhteydessä samaan tukiasemaan yhtäaikaan.
- Näitä tekniikoita siis käytetään mm. OFDMA:ssa ja yleensäkin aina, kun käyttäjiä on enemmän kuin yksi.

FDMA – Frequency-division multiple access:

- Käyttäjät saavat oman taajuusalueen, jota voivat käyttää jatkuvasti.
- Esim. NMT.
- Hyötynä taajuuksien uudelleenkäyttö. Miinuksena laadun nostaminen hyvin kallista (tukiasemien lisäys, antennien kehitys, jne).
- Ei sovi nykyaikaisille korkeanopeuksisille järjestelmille.
- Ei esiinny MAI:ta.
- Koherentti ja epäkoherentti modulaatio OK.

TDMA – Time-division multiple access:

- Käyttäjät saavat aikaikkunat, jonka aikana voivat käyttää koko taajuusaluetta.
- Esim. GSM

- Huono uudelleenkäyttö.
- Laadua voidaan nostaa edullisesti ottamalla käyttöön tehokkaampia koodaus/modulaatiomenetelmiä.
- Ekvalisaattoreita, joiden kompleksisuus kasvaa tiedonsiirtonopeuden kasvaessa, tarvitaan ISI:n poistoon.
- Ei esiinny MAI:ta.
- Koherentti ja epäkoherentti modulaatio OK.

CDMA – Code-division multiple access:

- Käyttäjät voivat käyttää jatkuvasti koko taajuusalueita. Erottelu tapahtuu koodilla.
- Perustuu hajaspektritekniikkaan. RAKE-vastaanottimia ja tehokontrollia tarvitaan.
- Mitä pidempi hajotuskoodi on, sitä erilaisemmat koodista saadaan ja sitä suurempi kaistanleveys saavutetaan (mitä enemmän käyttäjiä, sen enemmän vaaditaan koodia ja sitä enemmän kaistanleveyttä menetetään).
- Kaistanleveyden kasvattaminen antaa mahdollisuuden monitiekomponenttien käyttöön.
- Pienillä hajautuskertoimilla muistuttaa TDMA:ta ja ISI muodostuu ongelmaksi. Ts. hyödyllinen vasta tarpeeksi isoilla kaistanleveyksillä ($> 10\text{MHz}$).
- Tiedonsiirtonopeus voidaan helposti säätää halutuksi.
- Kuten yleensä hajaspektritekniikassa, sietää hyvin kapeakaistaista häiriötä (eikä aiheuta itse häiriötä kapeakaistaisille signaaleille). Voi kuitenkin tarvita monimutkaisia häiriönvähentämistekniikoita kapasiteetin kasvattamiseksi.
- Häiriötä voidaan vähentää muuttuvalla lähdekoodauksella, tehokontrollilla, pehmeällä handoverilla.
- Mahdollistaa "pehmeän" handoverin.
- MAI:ta esiintyy.
- Tukee vain koherenttia modulaatiota.

CSMA – Carrier-sense multiple access:

- Käyttäjät käyttävät koko taajuusalueita eri aikoina, mutta ajankäyttö ei ole organisoitua. Ennen lähetystä kuunnellaan, onko kanava vapaana. Törmäyksiä voi tapahtua ja dataa hävitä.
- Esim. WLAN.

SDMA – Spatial-division multiple access:

- Käyttäjät erotellaan alueittain käyttäen erilaisia antennin säteilykuvioita. Usein käytetään siis useita antennia, joilla voidaan toteuttaa sektorointi tai seuraus (antenni lukittuu kohteeseen ja suuntaa itseään liikkuvan kohteen mukaan).
- Käytetään muiden erottelutapojen lisänä. Tarkoittaa käytännössä sitä, että eri käyttäjät voivat käyttää samoja resursseja (esim. FDMA:ssa samoja taajuuksia).

- Esim. 4G.
- SDMA laskee lähetystehoa, jolloin MAI laskee ja kapasiteetti nousee.

Langattomat tiedonsiirtotekniikat

Hajaspektritekniikat (Spread Spectrum techniques):

- Esim. GPS, matkapuhelimet, WPAN, sotilaskäyttö.
- Tekniikalla hajoitetaan kapeakaistainen signaali laajalle taajuusalueelle.
- Lähetin ja vastaanotin käyttävät samaa tekniikkaa. Kapeakaistaiselle vastaanottimelle hajautettu signaali näyttää kohinalta.
- Ei sovellu valmiiksi liian leveäkaistaisille signaaleille (kaistanleveys $< 10\text{MHz}$).
- Signaalin hajoitus suuremmalle kaistanleveydelle antaa suojaa häirinnälle (tarkoitukselliselle ja tahattomalle). Hajoituksessa käytetty teho jakautuu suuremmalle taajuusvälille ja samalla myös hajautettu signaali häiritsee muita signaaleja vähemmän -> voidaan lähettää päällekkäisiä spektrejä.
- RAKE-vastaanottimella (haravavastaanotin) voidaan yhdistää monitiekomponentit.
- Hajaspektritekniikka tarjoaa hyvän aika- ja paikkaerottelukyvyn, joka tekee siitä hyvän paikannus- ja seuraustekniikan (GPS).
- Miinuksena koodisynkronointi (tarkkuus muutama kymmenen nanosekunttia) ja tehokontrolli (käyttäjien vastaanotettu tehoero saattaa olla todella iso).
- Voidaan toteuttaa kolmella tavalla:
 - Suorahajoitus eli DS-tekniikka (Direct Sequency). Lähetettävä signaali kerrotaan valesatunnaisella hajotuskoodilla, jolloin signaalin teho leviää hajotuskoodin kaistanleveyttä vastaavalle kaistalle. BPSK, monimutkainen hajoitus, balansoitu QPSK, kaksikanavainen QPSK, offset QPSK
 - Taajuushyppy eli FH-tekniikka (Frequency hopping). Lähetettävän signaalin keskitaajuutta vaihdellaan valesatunnaisen koodin tahdissa.
 - Aikahyppy eli TH-tekniikka (Time hopping). Signaali lähetetään lyhyinä, suurinopeuksisina ryöppyinä, joiden lähetyshetki määräytyy valesatunnaisen koodin perusteella.
 - Em. tekniikoita voidaan myös yhdistää.

OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing):

- Esim. WLAN, DVB-tekniikat, mobiilipuhelimet.
- OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access) sama tekniikka usealle käyttäjälle.
- Käytetään leveäkaistaisilla signaaleilla. Ideana jakaa signaali usealle erilliselle kantoaallolle, jotka lähettävät informaatiota erillään toisistaan. Saadaan vähennettyä (=lyhennettyä) ISIä.
- Ortogonaalisessa lähetyksessä erillisten kantoaaltojen annetaan mennä osittain päällekkäin, jolloin kaistanleveyttä säästyy huomattavasti. (FDM:ssä muuten sama idea, mutta kantoaallot eivät mene päällekkäin).
- Ei tarvita ekvalisaattoreita tai suurilla nopeuksilla vain yksinkertaisia versioita.
- Opimitilanteessa ICI nolla (kantoaallot eivät häiritse toisiaan).
- Yleisin käytössä oleva lähetystekniikka yli 10MHz:n kaistanleveyksillä.
- Voidaan toteuttaa FFT:llä (IFFT) tai DFT:llä (IDFT).
- Tyypillisesti OFDM:ssä käytetään QAM modulaatiota, jolla saadaan suuri konstellaatio pienillä kanavan häiriöillä.
- OFDM:llä päästään melkein kokonaan eroon ISI:stä, mutta monitie-eteneminen aiheuttaa vääristymistä ja ortogonaalisuuden menettämistä. Tätä voidaan torjua guard timellä, jolla viivästetään signaalia.
- OFDM-suunnittelussa määritellään:
 - Kantoaaltojen määrä.
 - Kantoaaltojen välinen etäisyys.
 - Guard time, OFDM-symbolin kesto. Suurempi symbolikesto tarkoittaa kantoaaltojen määrän kasvua ja pienempiä kantoaaltojen välisiä etäisyyksiä, sekä toteutuksen monimutkaistumista. Myös teho ja kohinan vaikutukset kasvavat.
 - Kantoaaltojen modulaatio.
 - Virhekoodaus.
- Näihin vaikuttaa:
 - Käytettävissä oleva kaistanleveys.
 - Vaadittu tiedonsiirtonopeus.
 - Siedettävä viive.
 - Doppler arvojen yläraja.

RAKE-vastaanotin:

- Käytetään hajaspektritekniikassa (WCDMA) vastaanottimessa.
- Suurempi hajautus (=pidempi hajautuskoodi) laskee tiedonsiirtonopeutta, mutta toisaalta lyhyempi hajautuskoodi aiheuttaa ISIä, jota tässä tapauksessa kutsutaan IPI:ksi (Inter-path interference).
- RAKE-vastaanottimella pyritään kasvattamaan SNR:ää.

UWB (Ultra wideband):

- Alunperin kehitelty impulssiradiota varten.
- Lähetetään impulsseja erittäin suurilla kaistanleveyksillä (useita gigahertsejä).
- Taajuusalue menee päällekkäin muiden tekniikoiden kanssa, mutta käytetty teho on niin pieni, ettei siitä ole paljoa haittaa.
- Saavutetaan hyvin suuria tiedonsiirtonopeuksia lyhyillä välimatkoilla (500Mbps, n. 4,5m etäisyyksillä).
- Pienitehoinen ja halpa toteuttaa.
- Hyvät läpäisyominaisuudet (seinät, maanpinta, vesi, jne). Nykyiset vaatimukset tosin rajoittavat tehoa.
- Mahdollistaa hyvin tarkan paikannuksen.
- Toteutuskohteina WLANit, WPANit, langaton USB, tutkat, sensorit, jne.

DAB (Digital Audio Broadcasting):

- Kannettaville, mobiileille vastaanottimille tarkoitettu järjestelmä.
- Käyttää OFDMA:ta.
- 1,5Mbps maksiminopeus.
- Sisältää neljä erilaista lähetysmoodia, joita voidaan käyttää tarpeen mukaan (satelliitti, terrestrial, hybridit).
- Korvaisi siis mm. analogiset radiot, mutta ei tunnu menestyvän.

DRM (Digital Radio Mondiale):

- Lähes FM-tasoista ääntä ja lisäksi tukee datan ja tekstinlähetyksiä.
- Toimii AM-taajuuksilla.
- Säätyvä kaistanleveys (4,5kHz - 20kHz).
- Käyttää COFDM:ää.

DVB (Digital Video Broadcasting):

- MPEG-2 koodaus.
- DVB-S, DVB-C, DVB-T.
- Sisältää myös paluukanavan.

WPAN (Wireless Personal Area Network)

Bluetooth:

- Edullinen langallisen yhteyden korvaaja.
- Lyhyt toimintasäde (10m. Laajennettavissa 100m:iin).
- Käyttää hyödyksi taajuushyppelyä, jolla vältetään häiriön vaikutuksia.
- 1 datakanava, 3 äänikanavaa.
- Versio 1.2 tarjoaa kanavalle 1Mbps nopeuden, 2.0 3Mbps. (käyttäjän datalle 732 kbps ja 2,1Mbps). Todelliset nopeudet kuitenkin paljon pienemmät lämpenemisen ja häiriöiden (uudelleenlähetys) takia.

Zigbee:

- Hyvin pienitehoinen WPAN tekniikka. -> saavutetaan hyvä virrankesto.
- 30m toimintasäde, maksimissaan 250kbps (eli bluetoothia hitaampi).
- Erittäin edullinen.
- Sopii erityisesti sensoreihin edullisuutensa ja pienitehoisuutensa vuoksi.

Multiband OFDM:

- Suurinopeuksinen WPAN (53 - 480 Mbps).
- UWB-tekniikka. Jaetaan kaista osiin ja käsitellään osia OFDM:llä.
- Koska taajuusalue on niin laaja, aiheuttaa helposti häiriötä. Voidaan sulkea yksittäisiä taajuusalueita (bands, tones) pois, jotta ei häiriötä tunnetulle käyttäjälle.
- Käyttää QPSK-modulaatiota.

WMAN/WiMax:

- Langaton internet-yhteyden tarjonta.
- Eroaa WLANista suuremman toimintasäteen (jopa 50km), nopeuden (maks. 100Mbps) ja säädettävän kaistanleveyden osalta.
- Tukee adaptiivisia antennoja, hajautustekniikoita, taajuushyppelyä.
- Yleensäkin tiukka liitos 4G-vaatimuksiin.

WiHD (Wireless HD):

- HD-kuvan langattomaan siirtoon käytettävä tulevaisuuden tekniikka.
- Käyttää OFDM:ää ja MIMOa.
- Pitäisi pystyä saavuttamaan usean Gbps nopeus ilman lähteenpakkaamista.

Kognitiivinen radio:

- Käyttää WRANia (Wireless Regional Area Network).
- Ideana suuri muokkautuvuus. Käyttää sillä hetkellä vapaita olevia taajuuksia hyväkseen ja voi vaihdella kaistanleveyttä, virrankäyttöä, tiedonsiirtotekniikoita tarpeen mukaan.
- Toissijainen resurssien käyttäjä. Vapauttaa käyttämänsä taajuuden heti, kun ensisijainen käyttäjä ilmaantuu.
- Tekniikkaa kutsutaan DSA:ksi (dynamic spectrum access).

Langaton lähetys:

- Kolme päätaajuusalueita:
 - 30MHz – 5 GHz. Ympärisäteilevät tai heikosti suuntaavat antennit.
 - 5 – 40GHz. Mikroaallot, jotka yleensä vahvasti suuntaavia.
 - 300GHz – 200 THz. Infrapuna.
- Jakautuvat:
 - Mikroaaltoihin
 - radiosignaaleihin
 - optisiin signaaleihin (laser, infrapuna, näkyvä valo)
 - vedenalaisiin ääniaaltoihin.

Monitie-etenemisen aiheuttamia häiriöitä

- Voidaan vähentää modulaatioilla, erilaisilla diversiteettimenetelmillä, hajaspektritekniikalla

ISI (inter-symbol interference):

- Esiintyy suurilla kaistanleveyksillä (=suurilla tiedonsiirtonopeuksilla). Käytännössä kanavan kaistanleveys on pienempi, kuin lähetettävän signaalin kaistanleveys, jolloin aaltomuoto pyöristyy ja venyy, sekä peräkkäiset pulssit menevät päällekkäin.
- Vierekkäiset symbolit menevät vastaanottimessa päällekkäin.
- Torjutaan ekvilaattoreilla, multipleksauksella (OFDM).

ICI (inter-carrier interference):

- Esiintyy, kun käytössä useita kantoaaltoja.
- Vääränlaiset kaistanleveydet aiheuttavat kantoaaltojen päällekkäisyyden.

MAI (multiple access interference):

- Esiintyy, kun useita käyttäjiä.
- Eri käyttäjiä ei saada eroteltua -> häiritsevät toisiaan.
- MAI:n vaikutus riippuu vastaanotettujen signaalien tehosta. Ilman tehokontrollia (TPC, transmit power control) käyttäjiltä vastaanotetut signaalit voivat poiketa hyvin suuresti teholtaan, jolloin heikot signaalit peittyvät. Tavoite on pitää vastaanotetut tehot mahdollisimman pieninä.

Tehokontrolli (TPC, Transmit power control):

- Tarvitaan kaikissa monen käyttäjän järjestelmissä, jotta eri käyttäjien vastaanotetut signaalit eivät olisi liian voimakkaita (MAI). Samalla saavutetaan myös parempi virransäästö lähetyspäässä.

Handover:

- Handover siirtää yhteyden solulta toiselle.
- Perustuu SINR (signaali-kohinasuhde+häiriöarvo) mittauksiin.
- Kova handover: Käyttäjä on yhteydessä vain yhteen tukiasemaan kerrallaan.
- Pehmeä handover: Käyttäjä voi olla yhteydessä useampaan tukiasemaan kerrallaan. Kaikki data lähetetään jokaiseen näistä tukiasemista ja jokainen tukiasema lähettää datan erikseen käyttäjälle. Tukiasemia tiputetaan ja otetaan käyttöön sitä mukaa, kun SINR-arvo muuttuu.

Kohina:

- Lämpökohina eli Johnson kohina on luonnon aiheuttamaa kohinaa vastaanottimen tulossa, joka aiheutuu vastaanotinkomponenttien elektronien liikkeistä.
- Valkoinen kohina on kohinaa, jonka kaksipuolinen tehotiheysspektri on vakio. Valkoisen kohinan peräkkäiset kohinanäytteet ovat korreloimattomia.
- AWGN-kohina (summautuva valkoinen Gaussin kohina) mallintaa lämpökohinan vaikutusta, kun analysoidaan järjestelmän suorituskykyä.

Signaalikonstellaatio ja modulaatioaakkosto:

- Informaatio siirretään hyödyntämällä modulaatioaakkostoa.
- Suurempi konstellaatio mahdollistaa suuremman datasiirtomäärän, mutta samalla virheiden mahdollisuudet kasvavat.
- Konstellaatioita:
 - BPSK. Symboli sisältää yhden bitin.
 - QPSK. Symboli sisältää kaksi bittiä.
 - 8PSK. Symboli sisältää kolme bittiä.
 - 16PSK. Symboli sisältää neljä bittiä.
 - Jne.
 - Eli 2^n konstellaatio sisältää n bittiä.

Lähteenkoodaus:

- Lähteenkoodauksella informaatiolle muodostetaan tehokas esittämistapa, jotta tiedon siirtäminen vaatisi mahdollisimman pienen siirtokaistan.
- Diskreetin lähteen tuottaman informaation siirtonopeus riippuu lähteen tuottaman informaation sisällöstä ja peräkkäisten symbolien välisestä korrelaatiosta.
- Analogisen lähteen tuottaman informaation edellyttämä siirtonopeus riippuu lähteen aaltomuodon amplitudi-jakaumasta ja hetkellisestä korrelaatiosta.
- Lähteenkoodauksella voidaan esim. Siirtää vain TV-kuvassa tapahtuvat muutokset, jolloin koko kuvainformaatiota ei tarvitse siirtää.

Kanavakoodaus:

- Kanavakoodauksella voidaan parantaa tiedonsiirtojärjestelmän sietokykyä kanavan eri ongelmia vastaan (kohina, häiriöt, häipyminen, jne).
- Käytännössä kanavakoodauksella voidaan pienentää bittivirhetodennäköisyyttä tai kasvattaa signaali-kohinasuhdetta kaistanleveyden ja monimutkaisempien järjestelmien kustannuksella.
- Kanavakoodauksessa informaatioon lisätään redundanssia (ylimääräisiä bittejä), joiden avulla voidaan havaita ja korjata siirtovirheitä.

Salaus:

- Analogisessa salauksessa sekoitetaan signaali aika- tai taajuustasossa (pilkotaan ja vaihdellaan paikat).
- Digitaalisessa salauksessa voidaan suoraan muuttaa bittijonojen järjestystä käyttämällä salausavainta.

Datamodulaatio:

- Analogiset datamodulaatiot:
 - Amplitudimodulaatio, AM. Ei vaadi paljon siirtokaistaa. Huono häiriönsieto.
 - Taajuusmodulaatio, FM. Vaatii AM:ta enemmän kaistaa, mutta parempi häiriönsietokyky.
 - Vaihmodulaatio, PM.
- Digitaaliset datamodulaatiot: ASK, FSK, PSK.
- Datamodulaatiolla voidaan:
 - Siirtää informaatio taajuudelle, jossa siirtokanavan ominaisuudet ovat paremmat.
 - Pienennettyä antennien fyysistä kokoa (antennin koko riippuu aallonpituudesta, joka edelleen riippuu taajuudesta).
 - Mahdollistaa taajuuskanavointi (multiplexing).

Demodulaatio:

- Demodulaatiossa "poistetaan" modulaatio, jolloin alkuperäinen signaali saadaan ilmaistua.
- Demodulaatiota vaikeuttaa siirtotieltä summautuneet häiriöt, kohina, sekä signaalin vääristyminen, sekä epätietoisuus lähetyspään tarkasta bittinopeudesta ja kantoaallon taajuudesta. Lisäksi vaaditaan oikeat synkronoinnit.
- Koherentti demodulaatio tarjoaa hyvän suorituskyvyn, mutta se vaatii kantoaallon taajuuden ja vaiheen selvittämistä.
- Epäkoherentti demodulaatio ei vaadi kantoaallon vaiheen selvittämistä, mutta suorituskky on koherenttia huonompi. Toteutus kuitenkin samalla yksinkertaisempi.
- Differentiaalisesti koherenttia demodulaatiota käytetään digitaalisissa järjestelmissä. Ei vaadi kantoaallon vaiheen selvittämistä, mutta vaatii lähetyssä differentiaalisen koodauksen. Suorituskky koherentin ja epäkoherentin demodulaation välissä.

Synkronointi:

- Lähetettävän digitaalisen informaation ilmaisu vastaanottimessa vaatii seuraavat synkronoinnit:
 - Koodisynkronointi. Hajoitusmodulaatiota käytettäessä spektrin koostaminen onnistuu vain, jos vastaanottimen generoima koodi on samassa vaiheessa kuin vastaanotetun signaalin koodi. Koodisynkronointi täytyy aina tehdä ennen muita synkronointeja. Ongelmia aiheuttaa pitkät hajoituskoodit, joiden synkronointiin kuluu pitempi aika (lyhyemmät koodit puolestaan laskevat kaistanleveyttä).
 - Kantoaaltosynkronointi. Kantoaaltosynkronoinnilla vastaanotetun signaalin taajuus saadaan selvitettyä. Vaaditaan jokaisessa modulaatiomenetelmässä.
 - Symbolisynkronointi. Jos vastaanotin ei tunne signaalin tarkkaa lähetysaikaa ja/tai etenemisviivettä, on symbolitahti selvitettävä symbolisynkronoinnilla.
 - Kehyssynkronointi. Kehyssynkronoinnilla voidaan selvittää erilaisten kehysten alkamisajankohdan selvittämistä esim. Lohkokoodauksessa.