



DVB-H-lähetysverkon optimointi Suomen olosuhteissa

Airi Silvennoinen

Valvoja: Prof. Sven-Gustav Häggman

Ohjaaja: DI Vesa Erkkilä

Sisällys

- **Työn tausta**
- **Ongelman asettelu**
- **DVB-H**
- **DVB-H-lähetysverkko**
- **DVB-H-lähetysverkon suunnittelu**
- **Tutkimusmenetelmät**
- **DVB-H-lähetysverkon optimointi**
- **Jatkotutkimukset**



Työn tausta

DVB-H on uusi ja kehitettävä teknologia. DVB-H-verkkoa on pilotoitu Suomen lisäksi useassa Euroopan maassa. Ensimmäinen DVB-H-palvelua koskeva verkkotoimilupa myönnettiin Suomessa keväällä 2006 Digita Oy:lle.

Tarve erilaisille verkon toimintaa koskeville selvityksille on olemassa.

Lähetysverkon osalta ei ole olemassa totuttuja ja hyväksi havaittuja ratkaisuja. Lähetysverkon rakenteiden tutkiminen on siten tarpeellista. Tässä työssä tarkoituksena on ollut selvittää optimaalisen DVB-H-lähetysverkon rakenne.



Ongelman asettelu

- Millainen on optimaalisen DVB-H-lähetysverkon rakenne?
- Millaisilla järjestelmä- ja verkkoparametreilla optimaalinen verkko voidaan toteuttaa?
- Millaisin rajoituksin optimaalinen lähetysverkko on toteutettavissa?



DVB-H (1/2)

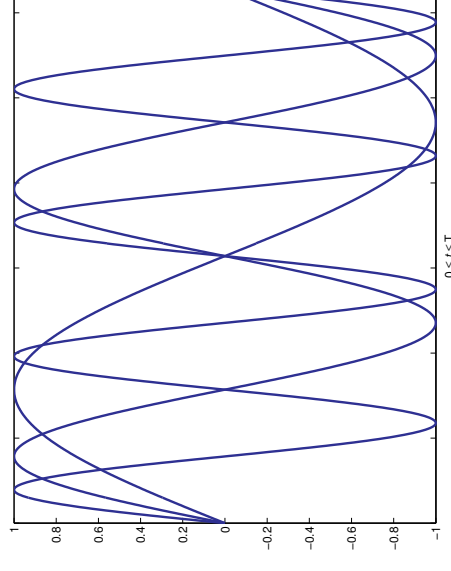
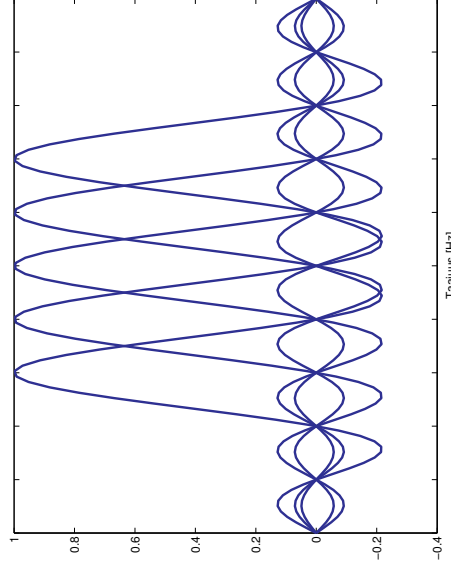
- **Yksisuuntainen fyysisen kerroksen tiedonsiirtomenetelmä erilaisille datagrammipohjaisille palveluille**
 - Televisiolähetykset
 - Radiolähetykset
 - Pelit, interaktiiviset palvelut, file-casting
- **Perustuu digitaalisen television standardiin DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial)**
- **Erona kiinteästi vastaanotettavaan DVB-T-palveluun, DVB-H mahdollistaa käyttäjän liikkuvuuden. Liikkuvuutta tukevat seuraavat standardin yksityiskohdat:**
 - **Aikaviipalointi:** Lähetys on purskemuotoista, mikä vähentää vastaanottimen tehonkulutusta.
 - Kolminkertainen virheenkorjaus, uutta **MPE-FEC** (MultiProtocol Encapsulation-Forward Error Correction): Optio, jonka tarkoitus on parantaa järjestelmän suorituskykyä vaikeassa vastaanottotilanteessa
 - **Kanavanvaihto:** Mahdollistaa käyttäjän liikkuvuuden verkosta toiseen



DVB-H (2/2)

- **Perustuu OFDM- (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) monikantoaaltoamodulaatioon**

- Kantoaaltojen lukumäärä riippuu toimintamoodista: 8192 (8k), 4096 (4k) ja 2048 (2k)
- Kantoaaltoamodulaatioksi voidaan valita QPSK, 16-QAM tai 64-QAM



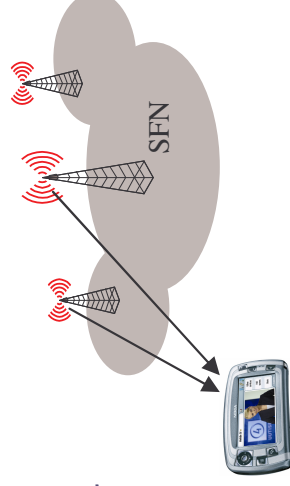
- **OFDM-symboli koostuu hyötöosasta ja hyötöosan eteen lisättävästä suojavälisestä**

- Suojavälin pituudeksi suhteessa hyötöosan pituuteen voidaan valita: $1/4$, $1/8$, $1/16$ ja $1/32$.
- Suojavälin aikana vastaanotetut signaalit kootaan hyötösignaaliksi. Suojavälin jälkeen vastaanottoon saapuvat signaalit häiritsevät symbolin tulkintaa.

DVB-H-lähetysverkko

- **Lähetysverkko on tyypiltään yksitaajuusverkko (SFN Single Frequency Network), mikä tarkoittaa, että verkon jokaisen lähettimen lähetystaajuus on sama.**

- Etuna SFN-vahvistus, kun vastaanottimessa summautuvat signaalit vahvistavat vastaanottoa verrattuna yhden vastaanotettavan signaalin tehoon
- Yksitaajuusverkossa saattaa esiintyä verkon sisäisiä häiriöitä, kun signaalien välinen viive-ero vastaanottimessa on suojaväliä pidempi.



- **Lähetysverkon rakenneosat ovat:**

- Lähettimet ja täytelähettimet
 - Syöttöjärjestelmät
 - Antennijärjestelmät
 - Mastot
- UHF- (Ultra High Frequency) alueen allotment-jako, jokaiselle maantieteelliselle alueelle on koordinoitu tietty taajuus tietyssä taajuusjaoissa

DVB-H-lähetysverkon suunnittelu

1. Määritetään vastaanottimessa vaadittava minimikentänvoimakkuus, joka riippuu vastaanottimen ominaisuuksista ja järjestelmäparametreista.
2. Määritetään minimikentänvoimakkuudesta johdettava kentänvoimakkuuden suunnitteluarvo, joka riippuu käytettävästä ennustemenetelmästä. Linkkibudjettilaskentaa hyväksikäyttämällä voidaan määrittää suunnitteluarvon sisältämät termit. Suunnitteluarvoa käytetään vain ennustemenetelmään riippuvaisena.
3. Määritetään vastaanottotyypistä riippuva suojaussuhteen suunnitteluarvo, joka on vaadittavan hyöty- ja häiriökentän suhteen vähimmäisarvo.
4. Määritetään ehdot onnistuneelle palvelun vastaanotolle tietyllä palvelutodennäköisyydellä:
 - Ennustetun paikallisen kentänvoimakkuuden tulee olla vähintään kentänvoimakkuuden suunnitteluarvo suuruinen
 - Ennustetun hyöty- ja häiriösignaalin välisen suhteen tulee olla vähintään suojaussuhteen suunnitteluarvon suuruinen



Tutkimusmenetelmät

- **Kirjallisuustutkimus**
 - Standardiin liittyvät julkaisut
 - Radioaaltojen etenemistä käsittelevä kirjallisuus
 - Yksitaajuuksverkon ominaispiirteitä käsittelevät julkaisut
- **Simulaatiot**
 - CRC:n (Canadian Research Center) kehittämä teoreettiseen laskentaan perustuva ennustemalli, jota on modifioitu DVB-H-verkkosuunnittelussa käytettäväksi
 - Todellinen tutkimusympäristö; maastomalli, puuston ja rakennusten korkeusmalli
 - Simuloinneilla selvitetiin:
 - Yhden lähetaseman parametrien optimointi
 - Verkon sisäisten häiriöiden minimointi
 - Allotment-alueen laajuisen yksitaajuuksverkon optimointi
- **Simulaatiotulosten vertailu myös kustannusestimaattien avulla**
 - Kustannusestimaatti on arvio lähetaseman vuosittaisista kustannuksista

Yhden lähetinaseman parametrien optimointi

- Tutkittiin säteilytehon ja antennikorkeuden vaikutusta saavutettavaan peittopinta-alaan ja pinta-akakohtaisiin kustannuksiin
 - Tutkimus suoritettiin kolmessa erilaisessa ympäristössä:
 - tasainen kaupunkiympäristö
 - tasainen maaseutuympäristö
 - vaihteleva maaseutuympäristö
 - ERP (Effective Radiated Power) 1 kW, 4kW, 10 kW, 30 kW
 - Antennikorkeus 40-200m
- Seuraavia parametreja käytettiin myös muissa simulaatioissa alkuarvoina:**
- Taajuusalue: UHF IV
 - Toimintamoodi: 8k
 - Suojaväli: 1/8 (112 µs) suojaväli
 - Modulaatio 16-QAM
 - Konvoluutiokoodaussuhde 1/2
 - MPE-FEC 5/6



Yhden lähetaseman parametrien optimointi

-tulokset

- **Parametrien vaikutukset peittopinta-alaan**
 - Säteililytehoilla 10 kW ja 30 kW antennikorkeuden kasvatus lisää eniten peittopinta-ala, optimikorkeus ei löydetävissä, antennikorkeuden kasvatuksen todettiin aina kasvattavan peittoalaa
 - Säteililyteholla 4 kW antennikorotuksen vaikutus oli lievä
 - Pienimmän säteililytehon tapauksessa korotuksen vaikutus olematon
- **Parametrien vaikutukset pinta-alkohtaisiin kustannuksiin**
 - 1 kW säteililyteholla kustannukset merkittävästi muita suuremmat
 - 4 kW kustannukset kasvoivat lievästi, kun antennikorkeus oli suuri
 - Kun säteililyteho oli 10 kilowattia, kustannukset pysyivät vakiotasolla
 - 30 kW tapauksessa pinta-alkohtaiset kustannukset pienenevät aina, kun antennikorkeutta lisättiin.

Yhden lähetaseman parametrien optimointi

-johtopäätökset

- Pienten säteilytehojen käyttö hyvin korkeissa mastoissa ei ole perusteltua, suurten säteilytehojen käyttö korkeissa mastoissa on tulosten perusteella suositeltavaa.
- Säteilytehon tulisi olla vähintään 4 kilowattia, sopiva antennikorkeus on tällöin alle 200 metriä.
- Mikäli peitettävä alue on hyvin suuri yhtenäinen alue, vähintään 10 kilowatin säteilytehot suositeltavia.
- Suurilla säteilytehoilla antenni tulee sijoittaa mahdollisimman ylös, kun tavoitteena on suuri aluepeitto.



Verkon sisäisten häiriöiden minimointi

- Tarkasteltiin kirjallisuudessa esiteltyjä menetelmiä, joita voidaan käyttää häiriöiden minimoimiseen ja poistoon
- **Antennien suuntaaminen**
 - Suunta-antennien pääsuunnat asetetaan osoittamaan toisistaan poispäin, jolloin häiriöitä ei synny
 - Haittana kutistunut peittoalue ja menetetty SFN-vahvistus
- **Signaalin viivästäminen**
 - Häirityn aseman lähetyssignaalia viivästetään, jotta haitallista suojavälin ylitystä ei tapahdu
 - Viivästäminen ei poista ongelman syytä, ilman huolellista viivästyssstrategiaa vaikutukset voivat olla haitallisia muilla alueilla

Allotment-alueen laajuisen yksitaajuusverkon optimointi

- Vertailtiin erilaisten verkkokonfiguraatioiden ja –parametrien vaikutuksia saavutettavaan peittopinta-alaan ja verkon kokonaiskustannuksiin Jyväskylän allotment-alueella
- Tutkittiin seuraavien verkkotyyppien vaikutusta verkon toimintaan:
 - Suuren alueen yksitaajuusverkko
 - Homogeeninen yksitaajuusverkko
 - Tiheä yksitaajuusverkko
- Tutkittiin seuraavien tekijöiden ja parametrien vaikutusta verkon toimintaan:
 - $\frac{1}{4}$ -suojavälin pituus (224 μ s)
 - Ympärisäteilevät antennit
 - Suunnatut antennit
 - Lähetysignaalin viivästäminen



Allotment-alueen laajuisen yksitaajuusverkon optimointi

-lähtötiedot

- Referenssiverkkona suuren alueen yksitaajuusverkko, jossa 2 lähetinasemaa ERP 10 kW ja 27 lähetinasemaa ERP 4 kW
- **Vastaanottotyypit:**
 - Mobiilivastaanotto, antenni on integroitu matkapuhelimeen
 - Autovastaanotto, signaali otetaan vastaan autoon integroidulla antennilla
- **Maaseutuympäristö**
- **Taajuusalue: UHF IV**
- **Toimintamoodi: 8k**
- **Suojaväli: 1/8 (112 μ s) suojaväli**
- **Modulaatio 16-QAM**
- **Konvoluutiokoodaussuhde $1/2$**



Allotment-alueen laajuisen yksitaajuusverkon optimointi -tulokset

- **Kustannusten kannalta**
 - Suuren alueen yksitaajuusverkossa tulokset oletettua heikommat, syynä luultavasti ylimitoitettut tehot ja antennikorkeus
 - Heikoin tulos saatiin ympärisäteilevillä antennilla ja homogeenisessa vertailuverkossa
 - Suunnatuilla antennilla toteutetussa verkossa kustannukset laskivat hieman
 - Tiheässä verkossa peiton laatu huononi ja lisätyt aseman nostivat kustannuksia
- **Häiriöiden ja peittopinta-alan kannalta**
 - Suojavälin pidentäminen poisti häiriöiden vaikutukset lähes täydellisesti
 - Antennien suuntaamisella on mahdollista vaikuttaa verkon keskialueiden häiriökohtiin. Tämä pienentää verkon peittoaluetta ja SFN-vahvistusta.
 - Viivästyksellä ei voida olettaa saavutettavan täysin häiriötöntä verkkoa, mutta se on erittäin tärkeä keino ratkaista ongelmia paikallisesti.
 - Homogeenisessa verkossa hyötypinta-ala kasvoi ja häiriöt vähenivät
 - Ympärisäteilevällä antennityypillä hyöty- ja häiriöpinta-ala kasvoivat samassa suhteessa.
 - Suuren alueen verkossa häiriöt lisääntyivät enemmän verrattuna hyötypinta-alaan, vaatii siten tehokkaan menettelyn häiriöiden poistamiseksi
 - Tiheässä verkossa sekä hyöty- että häiriöpinta-ala pienenevät merkittävästi



Allotment-alueen laajuisen yksitaajuusverkon optimointi -johtopäätökset

- Häiriöiden poiston kannalta suositeltavin ja yksinkertaisin ratkaisu on pidempi $\frac{1}{4}$ -suojavaäli. Tämä ratkaisu ei ole kuitenkaan kustannusten kannalta optimaalinen, koska järjestelmän tiedonsiirtokapasiteetti pienenee.
- Tutkimusten perusteella kokonaisuutena, sekä kustannusten että verkon toiminnan kannalta optimaalinen ratkaisu on suuren alueen verkko. Kokonaiskustannukset ovat hieman muita matalammat ja saavutettu hyötypinta-ala suuri.
- Häiriöiden kannalta suuren alueen verkko ei ole optimaalinen, mikäli käytetään $\frac{1}{8}$ -suojavaäliä (112 μ s), mutta tutkimusten perusteella häiriöitä on mahdollista minimoida ja poistaa. Tutkimusten perusteella häiriöitä saadaan minimoitua antennien suuntaamisella, joka myös pienentää verkon kokonaiskustannuksia. Lisäksi paikallisia häiriöongelmia voidaan vähentää tehokkaasti, kun lähetasemien signaaleja viivästetään.

Jatkotutkimukset

- Tutkimustulosten luotettavuus varmistettava herkkyysoanalyysien avulla
- Linkkibudjettiarvot varmistettava
- Suunnittelutyökalujen osalta: ennusteiden ja häiriöanalyysien laskeminen tulee olla tehokasta
- Ennustemenetelmä: Paikallinen vaihtelu sulautettava osaksi ennustemenetelmää, rakennusvaimennus olisi mielekästä yhdistää osaksi ennustemenetelmää ja lisäksi optio antennien tilittaukselle voitaisiin sisällyttää osaksi tätä suunnitteluvaihetta



Kysymyksiä? Kommentteja?



Kiitos!

