

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka

Tutkintotyö

Joona Keisala

Ohjelmistoradio

Katsaus käyttötarkoituksiin, toimintaperiaatteisiin, laitteistoihin sekä hyötyihin.

Työn ohjaaja
Tampere 2010

DI, Lehtori Jorma Peltoniemi

Tekijä	Joona Keisala
Tutkintotyö	Ohjelmistoradio
Sivumäärä	33
Valmistumisaika	03.05.2010
Työn ohjaaja	DI, Lehtori Jorma Peltoniemi
Työn tilaaja	Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä esitellään ohjelmistoradiotekniikkaa teoriatasolla. Tavoitteena oli työstää katsaus ohjelmistoradiotekniikan käyttötarkoituksiin, toimintaperiaatteisiin, laitteistoihin sekä hyötyihin. Suomenkielistä materiaalia aiheesta on hyvin vähän saatavilla. Tieto on kerätty englanninkielisistä kirjoista sekä materiaaleista, joista on koostettu kirjoittajan mielestä tärkeimmät seikat, jotka liittyvät tekniikan ymmärtämiseen sekä tekniikan kehittämiseen.

Ohjelmistoradio on mukautuva viestintätekniikka, jolla yhdistetään nykyisiä sekä tulevia viestintätekniikoita yhteen laitteistoon, johon voidaan ohjelmallisesti päivittää uudet tarpeelliset toiminnot, joutumatta vaihtamaan koko järjestelmää uusinta tekniikkaa vastaavaksi. Tämä tekniikka on kehittyessään ylivertainen verrattuna perinteisiin viestintäjärjestelmiin, jotka eivät ole muokattavissa näin helposti muuttuviin vaatimuksiin.

Ohjelmistoradiotekniikka alentaa uuteen tekniikkaan siirtymisen alkuinvestointien hintaa, parantaa käyttäjien käyttökokemusta sekä helpottaa viestintäverkkojen ylläpitoa. Esimerkiksi uusia modulaatiotapoja voidaan päivittää järjestelmään ohjelmistopäivityksillä, jolloin voidaan mahdollisesti kasvattaa tiedonsiirtonopeuksia vaihtamatta laitteistoja lainkaan.

Tätä työtä voidaan käyttää pohjana alettaessa tutkia ja suunnitella ohjelmistoradiossa käytettäviä ohjelmistoja tai laitteistojärjestelmiä. Mahdollisia kehityskohteita ovat esimerkiksi eri analogisten komponenttien suunnittelu digitaalisesti muokattaviksi ja eri vaiheissa käytössä olevien algoritmien suunnittelu. Varsinkin moniantennijärjestelmiä ohjaavissa algoritmeissa on paljon kehitettävää.

Writer	Joona Keisala
Thesis	Software Defined Radio
Pages	33
Graduation time	03.05.2010
Thesis supervisor	Master of Science, Lecturer Jorma Peltoniemi
Co-operating Company	Tampere university of applied sciences

ABSTRACT

This thesis describes the technology known as Software Defined Radio (SDR) in theory. The aim was to give the reader a good understanding on Software defined radio's working principles, equipment, uses, benefits and its future.

Software Defined Radio is a flexible form of wireless communication, which uses all possible means of communication known in one device. Other methods, such as new modulation and algorithms can be installed on the radio by downloading new software on it, without needing excessive modification to the device itself. This technology is better than the traditional means of communication, which don't have its level of adaptability.

Software defined radio lowers the costs of initial investment of new communication networks, enhances the user's communication experience significantly and lowers the maintenance costs of communication networks.

This thesis can be used as a guide when starting to design and building software defined radio systems and their programs. Possible targets for development are for example designing of many digitally adjustable analog components needed in SDR and many algorithms needed in various parts of the device.

Sisällysluettelo

1 Johdanto	7
2 Ohjelmistoradio.....	8
2.1 Historia ja kehitys	8
3 Laitteisto.....	10
3.1 Ideaalinen ohjelmistoradioarkkitehtuuri	10
3.2 Realistinen ohjelmistoradioarkkitehtuuri	11
3.3 Ohjelmistolla muokattavat analogiset komponentit.....	12
3.4 Antennijärjestelmä	16
3.5 Uudelleenohjelmoitavan digitaaliradion komponentit.....	18
3.6 Digitaalisen radion toiminnot.....	23
4 Verkkotekniikat.....	25
4.1 Uudelleenjärjestelyn määritelmä.....	25
4.2 Ohjelmistoradion vaatimukset viestintäverkolta.....	27
5 Yhteenveto	30
5.1 Yleisesti ohjelmistoradiosta	30
5.2 Laitteisto.....	30
5.3 Viestintäverkot	31
5.4 Ohjelmistot ja algoritmit	32
Lähteet.....	33

Lyhenneluettelo

/1, s.110/	Tarkoittaa tässä esimerkissä viittausta lähteeseen 1, sivulle 110
ADC	Analog to Digital Converter, Analogisten signaalien muunnos digitaalisiksi
ASIP	Application-specific Integrated Circuit, laitteistokohtainen integroitu piiri
CDMA	Code Division Multiple Access, Koodi-jakoinen Moni-yhteyksinen kanavien jakomenetelmä
CLB	Configurable Logic Block, Konfiguroitava logiikka lohko
DAC	Digital to Analog Converter, Digitaalisten signaalien muunnos analogisiksi
DC	Down Converter, alassekoitin
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
DSP	Digital Signal Processor, Digitaalinen signaali prosessori
FDD	Frequency Division Duplex
FPGA	Field Programmable Gate Array
GSM	Global System for Mobile communications, mailmanlaajuinen matkaviestin järjestelmä
GPP	General Purpose Processor, yleinen prosessori
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output, Monilähetys ja monivastaanotto
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OSI-malli	Open Systems Interconnection Reference Model
PA	Power Amplifier, Vahvistin
RAM	Random Access Memory, Keskusmuisti
RF	Radio Frequency, radiotaajuus
SDR	Software Defined Radio, Ohjelmistolla määritetty radio
SM	Spatial Multiplexing
SNR	Signal to Noise Ratio, signaali-kohina suhde
STC	Space Time Coding
TETRA	TErrestrial Trunked Radio
UC	Up Converter, ylössekoitin
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
VoIP	Voice over IP, ip-puhelut

1 Johdanto

Tämä työ on katsaus Ohjelmisto-pohjaisten radioiden tekniikoihin. Työn tarkoituksena on koostaa oleellista tietoa suomeksi tästä tekniikasta kiinnostuneiden luettavaksi, sillä kirjallisuus tästä aiheesta on pääasiassa englanninkielistä. Kappaleissa mainitaan joitain nykyään käytössä olevia ja kehityksessä olevia tekniikoita esimerkkeinä ohjelmistoradion toiminnasta. Kappaleessa 2 kerrotaan ohjelmistoradiosta yleisesti, sen historiasta ja nykykehityksestä. Kappaleessa 3 käsittelyssä ovat eräät ohjelmistoradiossa toimivat laitteistot. Kappaleessa 4 kerrotaan hieman uuden sukupolven viestintäverkoista ja kuinka ne voivat käyttää ohjelmistoradiota hyväkseen. Kappaleessa 5 on yhteenveto, päätelmät sekä tutkimusehdotukset.

2 Ohjelmistoradio

Viestintäteknikoiden yleistyessä ja kehittyessä eteenpäin perinteiset radiot eivät enää pysy kehityksessä mukana. Perinteiset radiot toimivat vain niillä tekniikoilla, joita oli saatavilla niiden valmistuksen aikaan, joten kehityksen edetessä huimaa vauhtia radiot eivät pysy vauhdissa mukana. Tarvetta onkin kehittää ohjelmistopohjainen radio, johon voitaisiin sisällyttää uusia tekniikoita ohjelmallisesti. Ohjelmistoradio on radio, joka poistaa radiosta perinteiset analogiset piirit ja joka korvaa ne prosessoreilla. Tämä parantaa joustavuutta, kustannustehokkuutta sekä eri järjestelmien välistä kommunikointia.

Ohjelmistoradiota voidaan verrata esimerkiksi tietokoneen käyttöjärjestelmään, joka mahdollistaa muiden ohjelmien toimimisen siinä. Samoin ohjelmistoradio on runko, jonka päällä toimivat erilaiset viestintäjärjestelmät toistensa kanssa yhteensopivasti.

Matkaviestinjärjestelmä kehitettiin alun perin vain puheen siirtoa varten, mutta nykyään laitteissa on esimerkiksi Internetyhteydet sekä videopuhelut. Kehityksen eteneminen aiheuttaa matkaviestinverkon ylläpidolle suuria kustannuksia, kun laitteistoa joudutaan uusimaan jatkuvasti vastaamaan uusia vaatimuksia. Ohjelmistoradiotekniikoilla voidaan lisätä uudet modulaatio- ja koodaustavat sekä tekniikat päivittämällä ohjelmistoja etänä tukiasemille. Tällöin asentajat voivat tehdä työnsä käymättä itse tukiasemalla lainkaan.

2.1 Historia ja kehitys

Vaikka ohjelmistoradio -nimen otti käyttöön Joseph Mitola vasta vuonna 1992, oli Yhdysvalloissa kehitetty tätä tekniikkaa jo 1970-luvulla. Ensimmäisiä julkisia hankkeita oli Yhdysvaltojen armeijan kehittämä SpeakEasy, jota testattiin onnistuneesti vuonna 1994. SpeakEasyssä tavoitteena oli kehittää ohjelmoitavaa prosessointia emuloimaan 10:tä eri armeijan radiota, joka toimisi taajuusvälillä 2 - 2000MHz. Tämän ensimmäisen vaiheen laite oli rakennettu kuorma-auton lavalle, ja se käytti useita silloisia prosessoreita laskentaan. Kehitystyön jatkuessa toiseen vaiheeseen tavoitteisiin lisättiin mahdollisuus lisätä uusia koodaus- sekä modulaatiotapoja ohjelmistoradioon helposti,

jotta armeija pysyisi kehityksessä mukana. Tekniikan kehitys mahdollisti myös laitteen mahtumisen reppuun.

Nykyään Yhdysvaltojen armeija kehittää Joint Tactical Radio System (JTRS) -järjestelmää, joka aikanaan tulee yhdistämään armeijan radioita yhteen laitteeseen. Suomessa kehitetään vastaavaa järjestelmää Oulun yliopistossa.

Ohjelmistoradion kehityksessä on monta eri astetta. Yleisimmin on käytetty kolmiportaista kehityskaarta. Ensimmäisenä portaana on normaali matkapuhelin, joka toimii muutamassa eri verkossa, kuten esimerkiksi 3G- ja GSM-verkoissa. Säätöjä voidaan tehdä jo ohjelmallisesti, mutta ei vielä niin kuin oikeissa ohjelmistoradioissa pitäisi pystyä tekemään. Yleensä vielä näissä puhelimissa eri tekniikat toimivat omissa järjestelmissään.

Toisena portaana on Ohjelmistolla määritetty radio (SDR), jota tässäkin työssä käsitellään. Tämä on varta vasten tarkoitukseen suunniteltujen laitteistoiden kanssa toimiva järjestelmä, joilla on kyky toimia useassa erilaisessa verkossa yhdellä järjestelmällä. Nämä on yleensä kehitetty eri maiden puolustusvoimissa. Ne toimivat hyvin mutta ovat vielä kalliita. Näissä laitteissa on erilainen yhdistelmä signaaliprosessoreita ja muita soveltuvia järjestelmiä, joihin voidaan ladata uusia ohjelmia tekemään halutut toimenpiteet. Tästä huolimatta nämä laitteet ovat vielä osittain analogisia, ja taajuusalueen vaihto voi vaatia antennin ja muutaman analogikomponentin vaihdon.

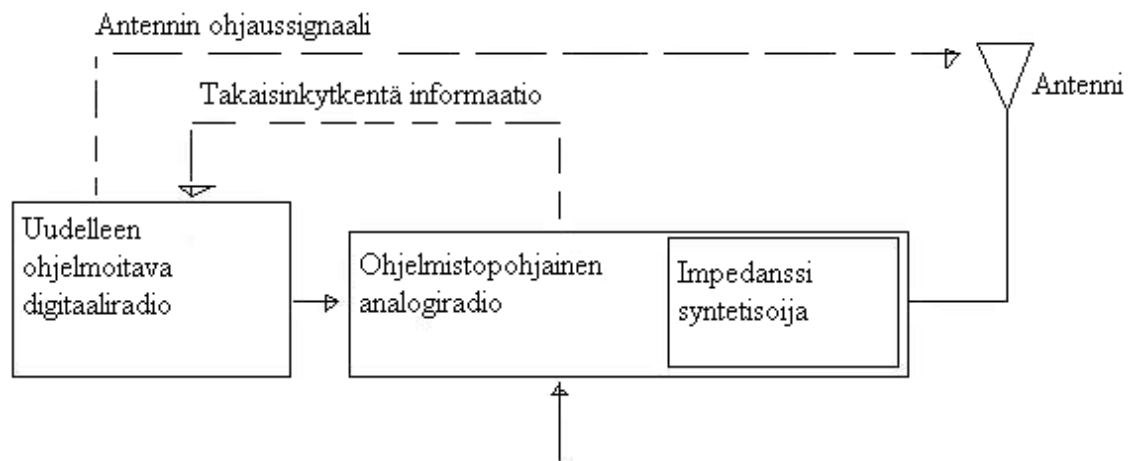
Viimeisenä asteena on täysin ohjelmiston avulla toimiva radio. Näissä signaaliprosessointi toteutetaan käyttöjärjestelmän ulkopuolisella ohjelmalla normaalien prosessoreiden avulla ja riippumatta laitteesta tai käyttötarkoituksesta. Mikäli löytyy tarpeeksi tehokas prosessori ja lähetin, viestintä toimii mikäli oikea ohjelma on käytettävissä. /4/

3 Laitteisto

3.1 Ideaalinen ohjelmistoradioarkkitehtuuri

Ideaalinen ohjelmistoradio koostuu kolmesta eri osasta. Nämä osat ovat uudelleen ohjelmitava digitaalinen radio, ohjelmistopohjainen analogiradio, jossa sisäänrakennettuna impedanssisyntetisoija, sekä ohjelmisto-ohjattava antennijärjestelmä. Tällaisen radion ihanearkkitehtuuri esitellään kuvassa 1. Tämä on yksinkertaistettu rakenne, josta selviää ohjelmistoradion päätoimintaperiaatteet.

Uudelleenohjelmitavan digitaaliradion päätehtäviin kuuluu muiden järjestelmän osien ohjaaminen, erilaisten aaltomuotojen tuottaminen ja optimointialgoritmien tuottaminen analogiradion ohjelmistolle sekä antennijärjestelmälle. Ohjelmistopohjaisen analogiradion analogiset osat rajoittuvat muutamaankomponenttiin, joita ei voi vielä rakentaa täysin digitaalisesti. Näitä ovat esimerkiksi RF-suodattimet, vahvistimet ja datamuuntimet. Impedanssisyntetisoijan tehtävänä on optimoida järjestelmää, jotta analogiradion toiminnan muuttuessa ohjelmistoradion spesifikaatioiden mukaan antennin impedanssin epäsojivuus ei aiheuta heijastumista lähetettäessä signaalia.



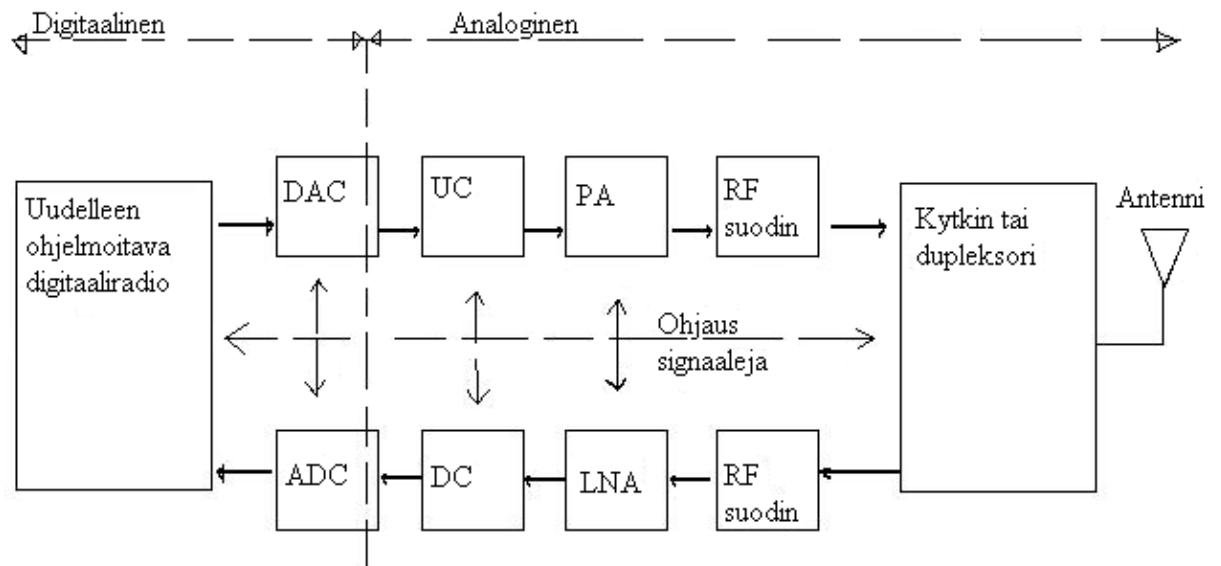
Kuva 1 Ideaalinen ohjelmistoradioarkkitehtuuri. /1, s. 112/

Uudelleenohjelmitava digitaaliradio tarkkailee ja varmistaa ohjelmistopohjaisen radion toimintaa jatkuvasti tai väliajoin riippuen järjestelmän asetuksista. Perustoimintaketju menee seuraavasti: Käyttäjä lähettää järjestelmälle digitaaliradion asetukset, jotta se kykenee järjestämään laitteiston toiminnan vastaamaan vaatimuksia. Nämä asetukset voivat sisältää esimerkiksi käytettävän modulaatitavan (esim. OFDM, CDMA, UWB),

taajuudet (kaistanleveys, operointitaajuus) tai virrankäytön säädöt. Digitaaliradio asettaa itsensä sekä järjestelmän muut osat vastaamaan vaadittuja asetuksia ja optiomi takaisinkytkennän avulla muiden osien asetuksia.

3.2 Realistinen ohjelmistoradioarkkitehtuuri

Nykyisten teknisten rajoitusten vuoksi (fyysinen koko, teho, suorituskyky, prosessointiaika) ideaalinen arkkitehtuuri on epäkäytännöllinen ja kallis. Sen sijaan on kehitetty lukuisia käytännöllisempiä SDR -järjestelmiä. Nämäkin järjestelmät uusiutuvat ja kehittyvät jatkuvasti kohti ideaalista arkkitehtuuria, joten seuraavakin esimerkki voi olla jo vanhentunut, mutta selventää hyvin näiden kahden arkkitehtuurin eroja. Kun järjestelmä kehittyy, analogisia komponentteja tarvitaan aina vain vähemmän, ja ne siirtyvät digitaaliselle puolelle. Seuraava kuva 2 on esimerkki WiMAX-verkkoon tehdystä käytännön ohjelmistoradiosta (Worldwide Interoperability Microwave Access). Kyseessä on mobiili internet-tekniikka, jolla saavutetaan 30 Mbps:n nopeus käyttäjälle.



Kuva 2 Eräs käytännön arkkitehtuuri ohjelmistoradiolle, WiMAX. /1, s. 113/

Uudelleenohjelmoitava digitaaliradio voidaan toteuttaa käyttämällä digitaalisia signaaliprosessoreita (DSP) tai Field Programmable Gate Arrayta (FPGA), joka tässä järjestelmässä pääasiassa generoi ja demoduloi Orthogonal frequency-division multiplexingin (OFDM) aaltomuodon ja hoitaa muiden osien tarvitsemien tietojen

lähetyksen. OFDM on taajuusjakoinen monikantoaaltoinen multipleksointitapa. Lähetettäessä dataa nämä tiedot laitetaan eteenpäin kuvassa näkyvälle Digital-To-Analog (DAC) -moduulille, jossa nimen mukaisesti digitaalinen signaali muunnetaan vastaavaan analogiseen aaltomuotoon. RF-suodinta varten signaalin taajuutta nostetaan UpConverterillä (UC). UC koostuu ohjelmistolla muokattavista vaimentimista, joille digitaaliradio lähettää sen toimintatasot. Tämän jälkeen signaalia vahvistetaan vahvistimella (PA) sen vastaanottamien ohjeiden mukaan. Vahvistettu RF-signaali suodatetaan ja lähetetään antennista eteenpäin. Käytettävän dupleksointimenetelmän perusteella radiot voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Time Division Duplexing (TDD) eli aikajakoinen dupleksointi, Frequency Division Duplexing (FDD) eli taajuusjakoinen duplexointi, sekä Half-Frequency Division Duplexing (H-FDD). TDD käyttää lähetin-vastaanotinkytkintä viimeisessä vaiheessa, ja FDD -dupleksoinnit käyttävät dupleksoria.

Vastaanotossa signaali saapuu antennille, josta se siirtyy RF-suodattimen kautta Low-Noise Amplifierille (LNA), jossa signaalia vahvistetaan. Tässä voi olla yhdistettynä digitaalisia vaimentimia, jolla moduulia suojellaan korkeatehoisilta signaaleilta. Vahvistettu signaali siirtyy DownConverterille (DC), jossa se pudotetaan alemmalle signaalitasolle. ADC muuntaa analogisen aallon digitaaliseksi käsittelyä varten.

3.3 Ohjelmistolla muokattavat analogiset komponentit

Ohjelmistoradion analogisella puolella on tarvetta monelle analogiselle komponentille, joiden ominaisuuksia voidaan säätää ohjelmallisesti. Seuraavassa esitellään tällä hetkellä tarvittavat analogiset komponentit. Osa näistä komponenteista saattaa kehityksen jatkuessa siirtyä täysin digitaaliseksi toiminnaksi.

3.3.1 Ohjelmistolla muokattava suodin

Idealisesti ohjelmistoradiossa tarvitaan IF- ja RF-suodattimia, jotka voidaan optimoida annetuille taajuuksille, kuten kaistanleveydelle sekä keskitaajuudelle vaikuttamatta kuitenkaan negatiivisesti suotimen suorituskykyyn. Suotimelta vaaditut ominaisuudet ovat vähäinen signaalin vaimennus päästökaistalla, hyvä vaimennus estokaistalla sekä hyvä tehonkäyttö. Tällaisten suodattimien suunnittelu vaihteleville ominaisuuksille on nykytekniikalla erittäin vaikeaa, mutta kirjallisuudessa on muutama onnistunut

lähestymistapa. Erään lupaavan suotimen pohjana on LTCC¹. Tämä on matalalämpöinen keraaminen suodin, jonka muokattavuuden mahdollistaa jännite-ohjatut dielektriset kondensaattorit. /1, s. 117/

3.3.2 Ohjelmistolla muokattava vahvistin

Vahvistimet ovat yksi keskeinen osa langattomia tietoliikennejärjestelmiä. Niillä nostetaan lähetettävän signaalin tehosta, jotta signaali voidaan vastaanottaa kaukanakin lähetyspisteestä halutulla signaali-kohina suhteella (SNR). Vahvistimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: lineaariset vahvistimet sekä epälineaariset vahvistimet. Erityyppisiä vahvistimia käytetään eri sovelluksissa ominaisuuksiensa mukaan, ja ohjelmistomuokattavat vahvistimet voidaan asettaa toimimaan näillä päätavoilla.

Lineaariset vahvistimet etuna on nimen mukaisesti lineaarisuus, joka on tärkeää signaaleissa joissa on laaja amplitudiskaala. Nämä kärsivät kuitenkin huonosta hyötysuhteesta, joka rajoittaa näiden käyttöä mobiililaitteissa.

Epälineaarilla vahvistimilla on ongelmana vaiheen ja amplitudin vääristymät, sekä viereisten kanavien häiritsevyys.

Vahvistimet ovat myöskin suurin tehoa kuluttava laite ohjelmistoradioissa, joten radion lämpötilaa voidaan muuttaa vaihtelemalla vahvistimien tehonkulutusta. Tällöin voidaan asettaa laitteisto toimimaan kylmissäkin olosuhteissa.

3.3.3 Ohjelmistolla muokattavat dupleksointilaitteet

Dupleksointilaitteilla ohjataan lähetyksen ja vastaanoton prosesseja. Kuten edellä kerrottiin, kolme tärkeintä dupleksointimenetelmää ovat TDD, FDD ja H-FDD. Näiden eri menetelmien tukeminen vaatii erilaisen järjestelmän kullekin, mikä nopeasti tulee kalliiksi valmistaa. TDD ja H-FDD käyttävät toiminnassaan lähetin-vastaanotinkytkintä, kun taas FDD käyttää dupleksointisuodinta. Ohjelmistoradiot tulevat tukemaan kaikkia näitä kolmea vaihtoen aina toimintaansa vastaamaan kutakin menetelmää, sillä kullakin näistä on omat vahvuutensa.

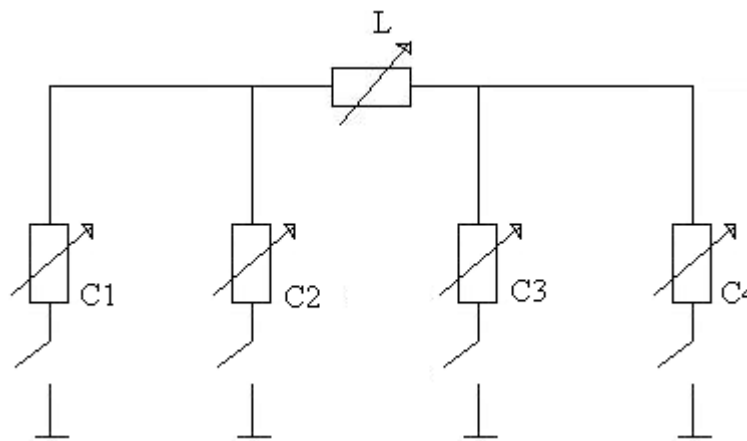
¹ Low Temperature Co-Fired Ceramic Technology

Käytännössä ohjelmistoradiioon ei voida laittaa jokaisen menetelmän laitteistoa, joten on kehitettävä yksi komponentti, joka hoitaisi nämä toiminnot.

Käyttämällä moniantennijärjestelmiä voidaan ohittaa lähetys-vastaanottokytkimen tarve.

3.3.4 Ohjelmistolla muokattava impedanssisyntetisoija

Impedanssisyntetisoijalla on tärkeä tehtävä ohjelmistoradion optimoinnissa vastaamaan vaadittuja ominaisuuksia. Kun radiota muokataan toimimaan toisella tavalla, impedansseista herkäät osiot joudutaan säätämään uudestaan. Esimerkiksi liikkuvuutensa takia vastaanottoantennin impedanssi on yksi mobiililaitteiden muuttuvimpia parametrejä. Muutoksessa antennin impedanssista seuraa epäyhteensopivuus voimanlähteen ja antennin välillä, nämä epäyhteensopivuudet vaikuttavat erittäin epäsuotuisasti antennin toimintaa ja voivat jopa vahingoittaa järjestelmiä. Mikäli teho on liian suuri verrattuna antennin impedanssiin, takaisin heijastuva teho alentaa laitteiston hyötysuhdetta, jolloin akun kesto alenee. Tämän vuoksi tarvitaan impedanssisyntetisoija säätämään laitteiston eri osien impedanssit vastaamaan toisiaan. Kuvassa 3 on yleinen kuva tästä moduulista. Mitä enemmän kondensaattoreita on kummallakin kelan puolella, sitä enemmän säädettävyyttä laitteelle saadaan.



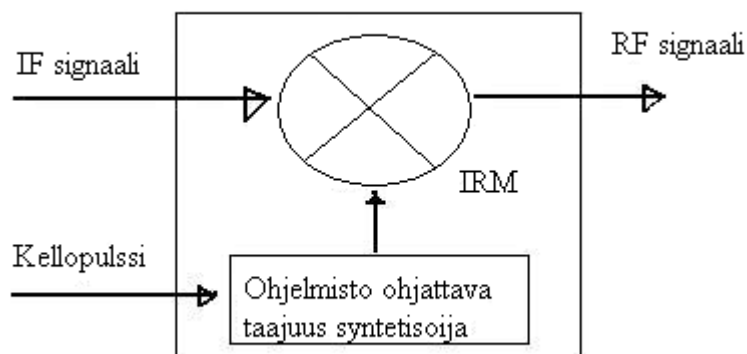
Kuva 3 Impedanssisyntetisoija. /1, s.120/

3.3.5 Ohjelmisto-ohjattava datamuunnin

Datamuuntimia tarvitaan kahta tyyppiä, Analog to Digital Converter (ADC), jolla muokataan analogisesta digitaaliseen ja päinvastoin muokkaava Digital to Analog Converter (DAC). Eräs rajoittava tekijä muunnettaessa analogista signaalia digitaaliseksi on laitteen tukema bittimäärä. Muunnokseen voidaan käyttää bittejä hyvinkin paljon, mutta on tärkeää saada bittimäärä järkeväksi, eli tasapainotettua SNR:n ja käytettävän bittimäärän välillä. Mikäli muunnetaan käytettävään aaltoon nähden liikaa bittejä, menee laskentatehoa hukkaan. Tästä syystä muunnin täytyy voida asettaa muuntamaan halutulla bittimäärällä sen mukaan, minkä laatuista ja muotoista aaltoa vastaanotetaan. Digitaalisessakin signaalissa pitää näkyä vähintään sen resoluutio, näytteenottotaajuus, vaiheittaisuus, ja vaihesiirto. DAC-moduulissa on samat vaatimukset, ja siinä datan muunnosta valvotaan takaisinkytkennällä, jolloin voidaan säätää muunnoksen asetuksia nopeasti.

3.3.6 Ohjelmistolla muokattava UC ja DC

UC ja DC ovat samanlaisia moduuleja, ja niiden tehtävänä on pudottaa signaalin taajuus nollassa lähelle tai nostaa lähetetty signaali oikealle taajuudelle. Kuvassa 4 on näiden periaatekuva. Vaatimuksena näille moduuleille on pieni vaihekohina, sekä peilitaajuuksien vaimennus. Vaihekohinan päälähde on moduulissa käytettävä kellotaajuus, ja peilitaajuuksia syntyy normaalissa radion toiminnassa signaalin taajuuksien monikertojen kohdille.



Kuva 4 UC:n ja DC:n periaatekuva. /1, s. 122/

Kuvassa IRM (Image Rejection Mixer) on peilitaajuuksien vaimennusta varten. Digitaaliradio valvoo tämän moduulin osia, jotta taajuussyntetisoija pysyy halutussa taajuudessa. Paikallisoskillaattorin täytyy tukea laajaa taajuusaluetta.

3.4 Antennijärjestelmä

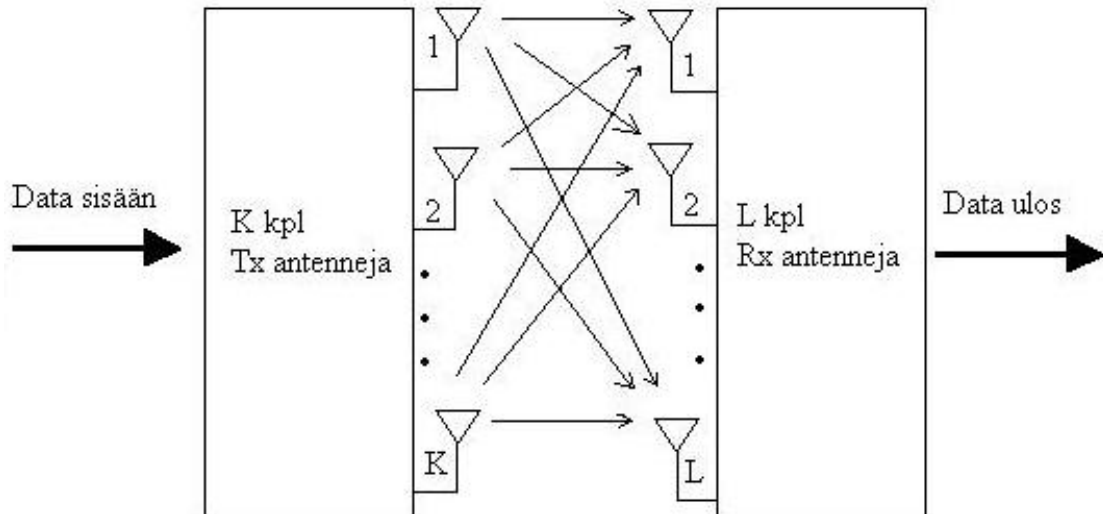
Perinteisesti radiot tarvitsevat vain yhden antennin lähetystä ja vastaanottoa varten. Kuitenkin viestinnän lisääntyessä jatkuvasti viestintäjärjestelmät tarvitsevat nykyistä enemmän kaistanleveyttä ja kapasiteettia. Koska myös modulaatiota kehittämällä viestintää tehostetaan merkittävästi, jää jäljelle antennijärjestelmän parantaminen viestinnän kasvun mahdollistamiseksi. Viestintälinkin kapasiteettia, spektritehokkuutta, datanopeutta ja vakautta parantamaan on kehitetty moniantennijärjestelmiä (Multiple-input and multiple-output, MIMO).

3.4.1 MIMO- järjestelmä

MIMO- järjestelmällä voidaan parantaa tukiaseman ominaisuuksia, esimerkiksi kattavuutta, tehon ja hyödyn suhdetta sekä datanopeutta. Kuitenkin moniantennijärjestelmä vaatii paljon monimutkaista laskentaa prosessoreilta, joten perinteisiin analogiaradioihin näiden suunnittelu on erittäin haastavaa. Tästäkin huolimatta ohjelmistoradiokäytössä tekniikka on erittäin lupaava.

MIMO -järjestelmässä on monia antenneja sekä lähetys- että vastaanottopäässä. Tämä mahdollistaa ns. rinnakkaiskanavien käytön lähetyksessä, sillä jokainen antenni vastaanottaa signaalia, jossa on osia kustakin lähetysantennista lähetystä signaalista. Rinnakkaiskanavat toimivat samalla aikavälillä ja samalla taajuusalueella kuin alkuperäinenkin kanava, joten niihin ei tarvita ylimääräistä kaistaleveyttä. Tämä parantaa datansiirtonopeutta huomattavasti antennien lukumäärän kasvaessa.

MIMO- järjestelmää voidaan havainnollistaa $K \times L$ -matriisina, jossa K on lähetysantennien lukumäärä ja L vastaanottoantennien lukumäärä. Kuvassa 5 on MIMO- järjestelmän periaatekuva. MIMO- järjestelmiä on erilaisia, ja kaksi periaatteellisesti erilaista ovat Space Time Coding (STC-MIMO) ja Spatial Multiplexing (SM-MIMO).



Kuva 5 MIMO- järjestelmän periaatekuva. Kuvassa lähetys tapahtuu STC-MIMolla.
/1, s. 124/

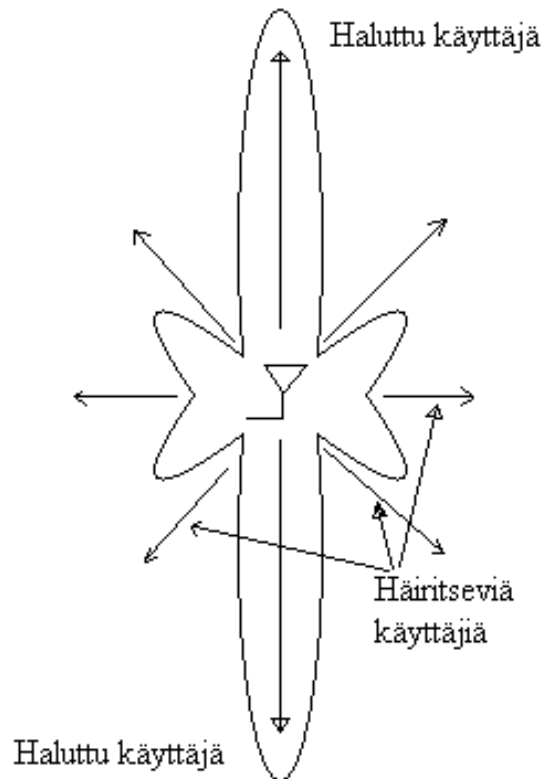
STC-MIMO- lähetyksessä saapuva data lähetetään samanlaisena jokaisesta antennista, kun taas SM-MIMOssa lähetettävä data jaetaan erilaisiin signaaleihin, jotka lähetetään omista antenneista. STC varmistaa signaalin kulun, ja SM varmistaa mahdollisimman suuren lähetyksen kapasiteetin. Signaalin laatu voi heiketä, mikäli eri antenneista lähetetyt signaalit häiritsevät toisiaan. Tällöin osa antenneista menee ns. hukkaan, kun niiden lähettämä signaali hautautuu muiden antennien lähetyksien alle.

MIMO ja muut tulevat moniantennijärjestelmät tuovat tila-ulottuvuuden muiden tekijöiden lisäksi kaistanleveyttä ja hyötysuhdetta parantamaan. Kuitenkin on vaikea tehtävä valmistaa antenneja ohjaavat algoritmit tarpeeksi tehokkaiksi muuttujien lukumäärän ollessa korkea. Ohjelmistoradion täytyy kyetä ottamaan käyttöön tarvittava määrä antenneja lähetykseen sekä vastaanottoon, riippuen ympäristöstä ja tilanteesta.

3.4.2 Älykäs antenni

Älykkäällä antennilla tarkoitetaan moniantennijärjestelmää, missä antennien sijaintia ja kulmia voidaan säätää ohjelmallisesti, riippuen häiritsevien ja haluttujen signaalien suunnista. Algoritmeilla seurataan lähetettyjen ja vastaanotettujen signaalien suuntaa, vaihetta ja tehoa. Näillä tiedoilla voidaan optimoida antennien suuntaukset automaattisesti haluttuja lähetteitä kohti, jolloin antennin pääkeila osoittaa haluttuun kohteeseen ja nollakeilat häiritseviin. Tällöin halutut käyttäjät saavat parhaan tehon

lähetyksistä sekä häiritsevät signaalit eivät vaikuta niin suuresti. Kuvassa 6 esitetään keilojen suuntausta haluttuihin kohteisiin.



Kuva 6 Älykkään antennin keilojen suuntaus

Keilojen muodostus voidaan hoitaa joko muistissa olevilla valmiilla suuntauksilla, jolloin ohjelmisto hakee parhaiten tilanteisiin sopivan antenni asetuksen ja säätää antennit sen mukaan. Toinen tapa on laskea jokainen tilanne erikseen ohjelmistoradion prosessorin laskuteholla.

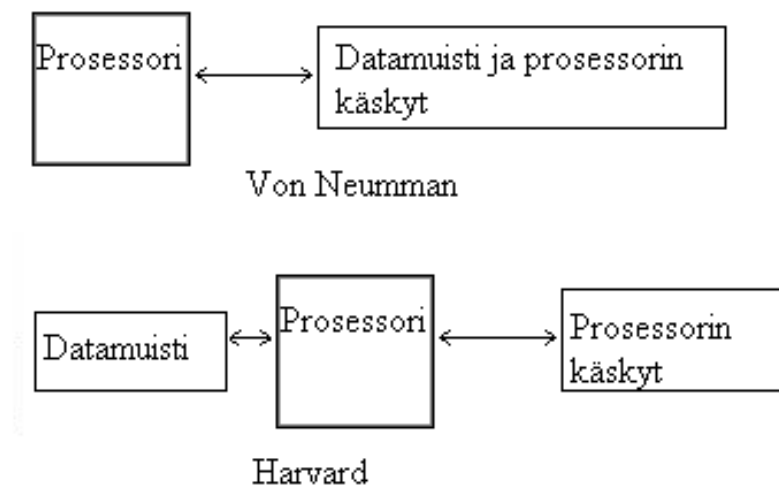
3.5 Uudelleenohjelmoitavan digitaaliradion komponentit

Alun perin radiot rakennettiin kiinteästi toimimaan tietyillä spekseillä, mutta kehityksen edetessä digitaalinen uudelleenohjelmoitavuus on tullut tärkeäksi. Tämä saavutetaan mikroproessoreilla, joita ohjataan ohjelmistoilla. Voidaan myös käyttää varta vasten signaalien käsittelyyn kehiteltyjä prosessoreita, eli Digital Signal Prosessoreita (DSP). DSP:t osoittautuivat kuitenkin hitaiksi, joten kehitystyö jatkui Application-Specific Integrated Circuit:n (ASIC) suuntaan. Näiden uudelleensovitus eri laitteisiin koitui

kuitenkin pulmaksi, joten kehitys jatkui FPGA:han, joka antaa joustavuutta sekä mahdollistaa uudelleenkonfiguroinnin, vaikka se onkin kallis ja vaatii runsaasti tehoa. Seuraavaksi esitellään tarkemmin DSP, GPP ja FPGA.

3.5.1 Yleiset prosessorit (GPP)

Nykyajan yleisimmät prosessoriarkkitehtuurit ovat Von Neuman ja Harvard. Näiden kahden pääeroavaisuudet löytyvät muistin määrästä ja datan ja käskyjen käsittelystä. Von Neuman -arkkitehtuurissa käskyt ja data ovat sijoitettu samaan muistiin, Harvard-arkkitehtuurissa vastaavasti erikseen. Molempia arkkitehtuureja käyttäviä prosessoreita on saatavilla monia, vaikkakin Von Neummania käyttävät ovat yleisimpiä. Kuvassa 7 on yksinkertaistetut lohkokaaviot Von Neuman ja Harvard arkkitehtuureista. Nykyajan prosessorit eivät suoraan sovellu käytettäväksi muunneltavissa ohjelmistoradiojärjestelmissä niiden korkean hinnan ja tehontarpeen takia. GPP:n suurin heikkous on kuitenkin kaiken datan läpikulku prosessoriväylän kautta, mikä hidastaa prosessointia.



Kuva 7. Von Neuman ja Harvard -prosessoriarkkitehtuurien eroavaisuudet. /1, s 134/

Kuitenkin GPP:llä on muutama etu ohjelmistoradiokäytössä. Näistä eduista tärkeimmät ovat seuraavat:

- Uusien algoritmien testaus on nopeaa ja tehokasta.
- Toimii tehokkaasti muiden sovelluksien kanssa, koska ylemmän tason ohjelmistot ja laitteistot kommunikoivat samassa laitteessa, minkä vuoksi niiden välinen tiedonsiirto nopeaa ja tehokasta.
- Joustava toimivuus eli voidaan asettaa eri kanavia eri kommunikointistandardeille

GPP tarvitsee ohjelmistoradiokäytössä datamuuntimet sekä analogiaradion komponentit toimiakseen kuten pitää. GPP:n toiminta signaaliprosessorina voidaan suunnitella käyttämällä tarkoitukseen kehiteltyjä suunnitteluohjelmistoja.

3.5.2 Digitaalinen signaaliprosessori (DSP)

DSP on GPP:n yksi muunnos, joka erikoistuu signaaliprosessointisovelluksiin. Monet nykyisistä DSP:eistä perustuvat Harvard- prosessoriarkkitehtuuriin, jolloin ne voivat yhtä aikaa suorittaa käskyjä ja kirjoittaa muistiin johtuen suuremmasta lukumäärästä prosessoriväyliä. Nykyiset DSP:t mahdollistavat nopeat kellotaajuudet sekä monen eri prosessointiketjun ajon. DSP:n ongelmana on, että yhdellä prosessorilla ei voida käsitellä kovin monimutkaisia algoritmeja. Tällöin voidaan joutua käyttämään useampia prosessoreita, mikä monimutkaistaa suunnittelua.

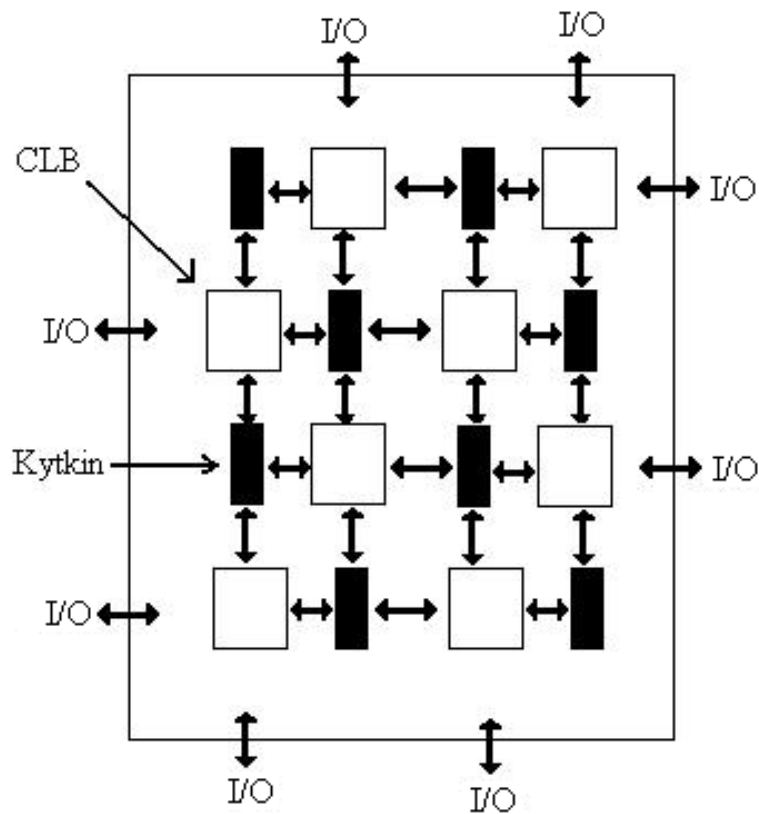
3.5.3 Field Programmable Gate Array (FPGA)

FPGA on järjestelmä, jossa on pohjalla monta toisiinsa eri tavoilla kytkimillä yhdistettävää Configurable Logic Blockia (CLB). Periaatekuva FPGA:sta kuvassa 8. Jotta voidaan toteuttaa algoritmeja FPGA:lla, jokainen CLB konfiguroidaan erikseen, minkä jälkeen kytkimet konfiguroidaan yhdistämään tai erottamaan CLB:t. Kytkimille on monia erilaisia toteutuksia, mutta kaksi eniten käytössä olevaa on käyttää RAM- tai FLASH-muistikytkimiä. Nämä menetelmät käyttävät staattisia bittejä ohjaamaan kytkimenä toimivaa yhteystransistoria, eli yhteys voidaan avata tai sulkea seuraavaan CLB:hen käyttämällä bittejä 1 ja 0.

Nykyiset FPGA:t voivat sisältää jopa 10 miljoonaa porttia, joten kytkimien manuaalinen käyttö on mahdotonta. FPGA:n valmistajat kehittävät samalla ohjelmistoja, joilla portit

ja kytkimet voidaan ohjeistaa toimimaan. FPGA piirien suunnittelu voidaan tehdä monella tavalla, käyttämällä esimerkiksi graafisia ohjelmistoja (MATLAB, Simulink) tai prosessorin ohjelmointikieliä (VHDL, Verilog).

DSP ja FPGA laitteiden yhdistäminen toimimaan samassa laitteessa on eräs mielenkiintoinen idea. Näiden edut tukevat hyvin toisen heikkouksia, vaikkakin kahden erilaisen prosessorin integrointi toimimaan keskenään ei ole helppoa suunnitella.



Kuva 8. FPGA-periaatekuva. /1, s.133/

3.5.4 Muokattavien digitaaliradiotekniikoiden vertailua

Kehitystyön edetessä nopeasti on esitetty seitsemän päävaatimusta uudelleen ohjelmoitavaan prosessointiin soveltuville digitaalilaitteille. Taulukossa 1 on vertailua yleisimpien tekniikoiden välillä. Seitsemän päävaatimusta ovat seuraavat:

1. Uudelleen konfigurointi: Laitteiston muokkaaminen toimimaan vaihtuvissa olosuhteissa
2. Integroituminen laitteiston seuraaviin portaisiin
3. Kehityskaari: Laitteiston täytyy nopeasti kehittää, ottaa käyttöön, varmentaa ja todentaa radion toimivuus uuden ohjelmiston käyttöönotossa
4. Suorituskyky
5. Tehonkulutus
6. Hinta
7. Koko

Taulukko 1 Vertailua yleisimpien prosessoritekniikoiden välillä.

Tekniikka	Laitteisto	Algoritmit	Ominaisuudet
ASIC	Muuntumaton	Muuntumaton	Korkea suorituskyky, ei uudelleenjärjestelyä, pieni tehonkulutus, korkea hinta, pieni koko, pitkä kehityskaari.
DSP	Muuntumaton	Näennäis-dynaaminen	Matala suorituskyky, pieni mahdollisuus uudelleen järjestelyyn, pieni hinta, pieni koko, lyhyt kehityskaari.
FPGA	Näennäis-dynaaminen	Näennäis-dynaaminen	Korkea suorituskyky, uudelleen ohjelmoitava, korkea tehonkulutus, korkea hinta, suuri koko, lyhyt kehityskaari.
Hybridi DSP/FPGA	Näennäis-dynaaminen	Näennäis-dynaaminen	Korkea suorituskyky, hyvin uudelleenohjelmoitava, keskihintainen, suuri koko, lyhyt kehityskaari.
GPP(Yleiset prosessorit, General Purpose Processor)	Muuntumaton	Dynaaminen	Hyvä suorituskyky, ei uudelleenjärjestelyä, korkea hinta, pieni koko, hyvä integraatiotaso, lyhyt kehityskaari.

Taulukossa 1 näennäisdynaaminen tarkoittaa että laitteistoa tai algoritmia voidaan hieman muunnella, kunhan pää rakenne pysyy lähellä alkuperäistä. Dynaaminen puolestaan antaa vapaat kädet muuntautumiselle.

3.6 Digitaalisen radion toiminnot

Tässä osiossa käydään läpi toimintoja, mitä digitaaliradion prosessoreissa tapahtuu. Toiminnot vaihtelevat käytössä olevien standardien sekä teknologioiden mukaan, joten esitellään vain yleisimmät. Kuvassa 9 lohkokaaavio toiminnoista.

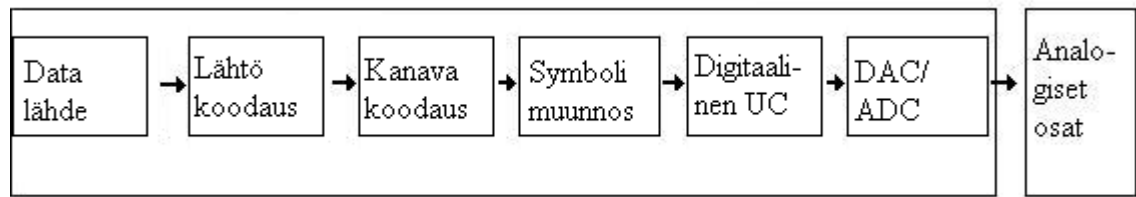
Lähetettävälle datalle tehdään ensimmäisenä lähtökoodaus (Source Encoding). Tässä digitaalinen signaali muunnetaan bittijonoksi. Muunnoksen tavoitteena on säilyttää datan alkuperäinen muoto mahdollisimman pienellä määrällä bittejä. Tehtävä jakaantuu kahteen alitoimintoon, jotka ovat formatointi ja datan pakkaus. Formatoinnissa mahdollisesti analoginen signaali muunnetaan aluksi digitaaliseksi. Mikäli signaali on jo digitaalinen, tätä vaihetta ei tehdä.

Tämän jälkeen datan pakkauksessa signaalista poistetaan ”turhat osiot” eli data, joka vain lisää bittimäärää tuomatta mitään oleellista tietoa signaalista. Signaalien muunnoksessa biteiksi käytetään monia tapoja. Eräitä käytettyjä tapoja ovat Pulse Code Modulation (PCM), differential PCM, deltamodulaatio sekä Linear Predictive Coding (LPC).

Lähtökoodauksen poistaessa ylimääräistä dataa tuo kanavakoodaus lisää dataa signaaliin. Tämä auttaa vastaanottajaa korjaamaan virheellisiä bittejä tai huomaamaan, mikäli bitit saapuvat väärässä järjestyksessä. Signaaliin lisätään virheiden havainnointia varten esimerkiksi pariteetti bittejä riippuen käytettävästä virrehavainnointimenetelmästä.

Symbolimuunnoksessa bittijono muunnetaan symboleiksi. Käytettyjä tapoja on tähänkin lukuisia, joista yleisimpiä käytössä olevia ovat Phase Shift Keying (PSK), Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK) sekä Quadrature Amplitude Shift Keying (QAM). Näillä on eroavaisuuksia keskenään spektrinkäytön tehokkuudessa sekä tehonkulutuksessa. Ohjelmistoradiokäytössä kuitenkin voidaan käyttää tilanteesta riippuen kaikkia tapoja.

Lopuksi lähetettävä signaali muunnetaan analogiseksi DAC:ssä tai vastaanotettava analogin signaali muunnetaan digitaalseksi ADC:ssä.



Kuva 9 Lohkokaavio prosessorin signaalille tekemistä toiminnoista. /1, s.142/

4 Verkkotekniikat

Matkaviestinverkkojen kehittyminen 3G-verkkojen jälkeen tuleviin tekniikoihin tarvitsee ohjelmistoradiotekniikkaa huomattavasti, sillä tulevien verkkojen täytyy olla yhteensopivia sekä nykyisten että niiden jälkeen tulevien verkkojen kanssa. Tämä täytyy lisäksi tapahtua käyttäjälle huomaamattomasti, sillä kuluttajalle tuleva palvelu ei saa häiriintyä, vaikka viestintä tapahtuu eri verkkojen välillä. Kehitys näyttää siirtyvän täysin IP-pohjaiseen matkaviestinverkkoon jatkuvalla ja saumattomalla yhteydellä. Näistä syistä SDR-järjestelmät käyttäjän laitteistoissa, kuin verkon vastaavat järjestelmät ovat hyvin tärkeitä.

Esimerkkinä voidaan mainita tilanne, jossa GSM-tukiasema havaitsee toiminta-alueelleen saapuvan UTRA:a käyttävän matkaviestimen. Tällöin tukiaseman täytyy osata asentaa UTRA-ohjelmisto uusille modulaatioille, virheen korjauksille ja kanavakoodausalgoritmeille. Mikäli asennus voidaan tehdä saumattomasti, myöskin käyttäjälle tukiaseman vaihto sujuu saumattomasti. Jotta tämä on mahdollista ohjelmistoradion, niin vastaanottimen kuin tukiaseman, järjestelmän täytyy sisältää laitteiston muuntautumiseen erikoistuneita ohjelmia. Nämä mahdollistavat käytettävän tekniikan ja käytettävien ohjelmistojen tietojen välittämisen toisilleen. Tämä esimerkki toimii parhaiten tulevaisuuden täysin ohjelmistopohjaisilla järjestelmillä, missä ei tarvita kuin ohjelman vaihdot tekniikoiden yhteen sovittavuuteen.

Verkkojen muokattavuudelle on asetettu muutamia oleellisia tavoitteita, joita ovat:

- Kyky muuntautua ja tarjota palveluita lukuisille erilaisille viestinjärjestelmille (esim. GSM, TETRA, UMTS, UTRA, GPRS, DECT).
- Kyky tarjota uusia palveluita ja ohjelmistoja
- Ohjelmistopäivitykset
- Joustavien verkkojärjestelmien täydellinen hyödyntäminen

4.1 Uudelleenjärjestelyn määritelmä

Uudelleenjärjestelyllä ohjelmistoradiossa tarkoitetaan, että järjestelmä voidaan muuntaa tukemaan useita eri järjestelmäominaisuuksilla ja toimintoja. Tämä on riippuvaista itse

laitteistosta kuin myös järjestelmän pohjalla olevasta ohjelmistosta. Molemmat täytyy alistaa standardisoinnille, sillä muuten suurin etu järjestelmästä katoaa. Ilman standardisointia syntyy useita kilpailevia tekniikoita, jotka tekevät samat asiat, mutta eivät välttämättä ole täysin yhteensopivia keskenään johtuen suurista eroista laitteistoarkkitehtuureissa. Seuraavassa on luettelo siitä, mitä uudelleenjärjesteltävässä järjestelmässä tulisi olla muokattavissa:

- **Monikaistainen.** Monikaistaiset järjestelmät tukevat useampia kuin yhtä tiettyä taajuuskaistaa, eli ne tukevat esimerkiksi GSM-, DECT- ja UMTS- viestintäjärjestelmiä. RF-järjestelmän täytyy kyetä muuntumaan jokaisen eri taajuusalueen vaatimuksiin. Kun vielä lisätään erilaiset dupleksoinnit, tämä tulee entistä monimutkaisemmaksi.
- **Moniohjaus.** Laitteisto kykenee ottamaan vastaan ja tuottamaan monia itsenäisiä viestintästandardeja yhtä aikaa, joten käyttäjällä on käytössä joustava osa tietovirtaa, mikä mahdollistaa paremman käyttäjäkokemuksen.
- **Monitoiminta.** Uudelleenjärjesteltävien laitteistojen tulisi olla sovelluksista riippumattomia ja niiden tulisi mahdollistaa moniajon lähetysoiminnoille ja usealle eri sovelluskerroksen ohjelmistolle ja palvelulle.

Järjestelmät voidaan toteuttaa usealla eri uudelleenjärjestelyn tasolla, jotka sopivat tiettyihin käyttötarkoituksiin toisia paremmin.

- **Osittainen uudelleenjärjestely**
Muutamaa ominaisuutta kyetään vaihtamaan vaihtamatta kuitenkaan päästandardia, eli tämä on standardin sisäistä muuntautumista. Esimerkiksi voidaan hienosäätää joitain muuttujia paremman tiedonsiirron saavuttamiseksi.
- **Täydellinen uudelleenjärjestely**
Voidaan vaihtaa viestintätapa standardista toiseen kuten esimerkiksi GSM:stä UMTS:iin. Tässä muuntautumisessa laitteiston toiminta, käyttö ja siirtoyhteydet muuttuvat suuresti.
- **Staattinen uudelleenjärjestely.**
Laitteiston uudet ominaisuudet lisätään joko laitteen ollessa pois päältä tai sen ollessa käynnissä. Tämä voidaan tehdä asentamalla esimerkiksi sirukortti laitteistoon.

- ***Tausta uudelleenjärjestely.***

Tässä uudelleenjärjestely tapahtuu joko aikavälein tai jonkin ennalta määrätyn tapahtuman ilmaantuessa. Ohjelmisto ladataan tietoverkkoja pitkin, asennetaan ja käynnistetään. Tämä yleensä mahdollistetaan käyttämällä rinnakkaista järjestelmää, joka toimii normaalilla tavalla sillä välin, kun toinen päivittää järjestelmiään.

- ***Läpinäkyvä uudelleenjärjestely.***

Tämä toimii kuten edellinenkin järjestelmä, mutta tarvitsee vain yhden laitteiston ladatakseen ja samalla palvellakseen käyttäjiä.

On selvää että läpinäkyvällä järjestelyllä päästään parhaisiin tuloksiin, mutta samalla se on vaikein toteuttaa nykytekniikalla.

4.2 Ohjelmistoradion vaatimukset viestintäverkolta

Ohjelmistoradion käyttöönotto tarvitsee verkon toiminnalta muutamia isoja vaatimuksia, jotta sen toiminta voidaan toteuttaa viestintäverkkojen tukiasemilla.

4.2.1 Uudelleenjärjestelyn valvonta

Valvonnan tehtävänä on varmentaa ohjelmistojen ja laitteiston oikea toiminta uusien tekniikoiden ja ohjelmistojen päivitystilanteessa. Tälle on asetettu muutamia vaatimuksia:

- Yhteystyyppin tunnistus ja varmennus
- Yhteystyyppin vaihto ja hallinta
- Samanaikainen yhteys moniin palveluihin viestintäverkossa
- Turvallinen ohjelmistojen lataus, sisältäen tietojen varmennuksen ja käyttäjän varmistamisen
- Mukautuvat ja uudelleenjärjesteltävät tukiaseman käyttöjärjestelmät sekä laitteistot

4.2.2 Uusien palveluiden ja tekniikoiden hallinta

Verkon kyky skaalautua käyttäjämääriin ja ottaa käyttöön uusia tekniikoita nopeasti on tärkeä osa sujuvaa toimintaa ohjelmistoradioverkoille. Verkon täytyy pystyä lataamaan ja aktivoimaan protokollia, ohjelmistoja tai vaikka kokonaisia palveluita vaikuttamatta suuresti käyttäjien viestintään. Uusien ohjelmien ja palveluiden tuottajien täytyy myös valmistaa ohjelmistonsa olemaan riippumattomia käytössä olevasta verkkoteknologiasta, viestintäliikennemääristä sekä käyttöympäristöstä.

4.2.3 Käyttäjien hallinta

Viestintäjärjestelmä jakaa käyttäjälle palveluita riippuen käyttäjän tekemän sopimuksen tiedoista (esimerkiksi tiedonsiirtonopeus, käytössä olevat palvelut, mahdolliset automaattiset ilmoitukset). Jokaisella käyttäjällä voi olla esimerkiksi eräänlainen käyttäjäprofiili viestintäverkon muisteissa, josta ohjelmisto hakee käyttäjän tunnistettuaan tarvittavat tiedot. Näin mahdollistetaan eri käyttäjille yksilöity järjestelmän toiminta.

4.2.4 Verkon turvallisuus

Ohjelmistoradiotekniikka mahdollistaa erittäin joustavan verkkojärjestelmän missä melkein kaikki parametrit ovat vaihdettavissa nappia painamalla, joten verkon turvallisuuden täytyy olla erittäin pitävä. Verkon tietoturvan lisääminen heikentää hieman verkon järjestelmien muuntautumista, mutta on pakollista nykyajan järjestelmissä. Seuraavassa muutama kohta millä verkon turvallisuutta voidaan parantaa:

- Turvallisuusohjeistus ja järjestelmä luotettavaan ja varmaan ohjelmistojen lataukseen ja päivittämiseen. Voidaan pakottaa päivitysten lataus esimerkiksi vain luotetuilta palvelimilta ja valmistajien omilta palvelimilta.
- Erotetaan tärkeät ohjelmistot vaikuttamasta toisiinsa. Esimerkiksi palvelut ja ohjelmistoradiota muokkaavat ohjelmistot eivät vaikuta toisiinsa toimintaan.
- Käyttäjältä varmistetaan, haluaako hän ladata matkaviestimeen uusia ohjelmistoja, mikäli käyttäjällä on jo viestimessä ohjelmisto, joka saattaa olla ristiriidassa uuden ohjelmiston kanssa.

Turvallisuuden ja mukautuvuuden tasapainottaminen on vaikea tehtävä, sillä yleensä turvallisuuden lisääntyessä muokattavuus ja mukautuvuus heikkenevät. Mikäli jokainen saatu käsky pitäisi varmentaa, hidastuisi muutoksiin reagoiminen hyvinkin suuresti.

5 Yhteenveto

5.1 Yleisesti ohjelmistoradiosta

Ohjelmistoradion kanssa kilpailevaa tekniikkaa ei mielestäni ole olemassa.

Prosessoreiden laskentatehon jatkuvasti kasvaessa erilaiset analogiset tehtävät voidaan helpommin ja tehokkaammin hoitaa pelkällä laskentateholla. Järjestelmän muokattavuus uusiin viestintäteknikoihin tekee siitä erittäin varteenotettavan vaihtoehdon perinteisille tekniikoille.

Ohjelmistoradiotekniikalla on huomattavia etuja viestintäteknikan palveluntarjoajille sekä käyttäjille. Käyttäjät saavat pääsyn moniin viestintäjärjestelmiin yhdellä laitteella, ja laitteistojen ja palveluntarjoajat saavat uusia markkinoita ja halvempia suunnittelu- ja ylläpitokustannuksia.

Eräs ohjelmistoradion tulevaisuuden tavoite on mahdollistaa kolmannen osapuolten valmistamien viestintäohjelmistojen toimivuus muiden valmistajien valmistamilla laitteistoilla. Tällöin voidaan valita mikä vain kannettava laite itselle käyttöön sekä myös valita siinä toimivat ohjelmistot ja palvelut toisen valmistajan ohjelmistoista. Näin käyttäjä voi vaikuttaa suuresti oman laitteensa toimintaa. Tämä tietenkin on riski tietoturvalle, joten ohjelmistojen valmistajille täytyy myöntää jokin laadun tae, esimerkiksi sertifikaatteja.

5.2 Laitteisto

Tekniikan lähitulevaisuus on erittäin mielenkiintoinen ja tarjoaa lukuisia kehityskohteita tutkittavaksi. Monien radioiden analogiatoimintojen muokkaaminen digitaalisiksi on vaikea tehtävä ja ohjelmistojen suunnittelussa on paljon tehtävää. Ohjelmistoradion kehittäminen vaatiikin tutkijoita, joilla on kokemusta sekä kiinnostusta ohjelmistojen tuottamisesta, kuin myös monesta eri tiedonsiirtotekniikasta. Myös itse laitteiston elektroniikan suunnittelussa on työstämistä.

Alalle tarvitaan yhtenäisiä laitteistostandardeja, sillä erilaisten järjestelmien päällä toimivat huomattavasti toisistaan erilaiset ohjelmistot, jolloin kolmansien osapuolten ohjelmistojen kehittäminen on kallista puuhaa.

Käyttäjille ohjelmistoradiosta on huomattavaa hyötyä: uusien kannettavien viestintälaitteiden hankintaa voi halutessaan vähentää, sillä käyttäjän tarvitsee vain ladata uusimmat ohjelmistot uusille tavoille kommunikoida.

Nykyään ohjelmistoradion kaltaista tekniikkaa on jo laajasti käytössä armeijoiden viestintäjärjestelmissä. Myös kaupallisissa kannettavissa laitteistoissa on käytössä signaalinkäsittelyprosessoreita tukemassa signaalien käsittelyä. Vaikkakin näitä tekniikoita ei yleensä kutsuta ohjelmistoradioiksi, käyttävät ne SDR-tekniikoita parantamaan laitteistojen toimivuutta.

Myös valmiita ohjelmistoradioalustoja on käytettävissä opetus- ja tutkimuskäyttöön monilta eri valmistajilta. Näillä voidaan esimerkiksi testata käytettäviä ohjelmistoja tai antennijärjestelmiä.

5.3 Viestintäverkot

Uusien SDR-pohjaisten verkkojen rakentaminen sekä suunnittelu on luultavasti yhtä kallista kuin nykyistenkin verkkojen, mutta niiden pitäisi kestää käyttöä hieman kauemmin kuin nykyisten verkkojen johtuen niiden mukautumisesta uusiin tekniikoihin. Tällöin investoinnin kulut tulevat vuosien kuluessa pienemmiksi kuin nykyisten verkkojen. Tarvitaan kuitenkin isoja maailmanlaajuisia standardeja tukemaan ohjelmistoradion kehitystä, jotta verkoston viestintä kyetään rakentamaan sujuvaksi valtiollistenkin rajojen yli.

Myös erilaisten verkkojen yhteensovittamisessa on ongelmansa, sillä sovitus on tehtävä kaikilla OSI-mallin tasoilla.

Uusien verkkojen ja kannettavien laitteiden suunnittelussa on otettava huomioon se, että jokaista kannettavaa laitetta voidaan antennien ja akkukeston parantuessa käyttää eräänlaisena pienoistukiasemana, jolloin tukiasemien kantama kasvaa. Luultavasti palveluntarjoajien liittymäsopimuksissa täytyy vain käyttäjän kertoa, kuinka suurta osaa hän on halukas jakamaan omasta akun kestostaan muiden laitteiden viestien kuljettamiseen.

5.4 Ohjelmistot ja algoritmit

Tehokkaiden ja toimivien signaalinkäsittelyohjelmistojen kehitys monelle erilaista laskentatapaa käyttäville prosessorille on haastava tehtävä ja yhtenäinen laitteistostandardi helpottaisi myös näiden kehitystä. Yleisille prosessoreille on olemassa monia ohjelmointikieliä ja ohjelmistoja uusien ohjelmistojen kehittämistä varten. Esimerkiksi omia ohjelmistojakin on kehitetty ohjelmistoradiokäyttöön tarkoitettujen ohjelmistojen luontiin.

Ohjelmistojen kehitykseen on monia vaihtoehtoja. Esimerkiksi ohjelmistoradiolle voidaan ohjelmoida pelkkä käyttöjärjestelmä, johon ladataan modulaatioohjelmistot erikseen. Toinen vaihtoehto on luoda täysin itsenäinen ohjelmisto, joka hoitaa kaikki ohjelmistoradion tehtävät omin avuin.

Lähteet

1. Arslan, Hüseyin. (edited) 2007. Cognitive Radio, Software Defined Radio, and Adaptive Wireless Systems. Dordrecht: Springer.
2. Dillinger, Marcus, Madani, Kambiz & Alonistioti, Nancy. (edited) 2003. Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions. Guildford: Biddles Ltd.
3. SDR-Forum: What is Software Defined Radio [www-sivu] Saatavissa:
http://www.wirelessinnovation.org/page/What_is_SDR [viitattu 14.04.2010]