

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

Janne Kokkonen

Langattoman lähiverkon päivitys

IEEE 802.11g -laitteista IEEE 802.11n -laitteisiin

Insinööritö 26.4.2009

Ohjaaja: yliopettaja Matti Puska
Ohjaava opettaja: yliopettaja Matti Puska

Tekijä Otsikko	Janne Kokkonen Langattoman lähiverkon päivitys IEEE 802.11g -laitteista IEEE 802.11n -laitteisiin
Sivumäärä Aika	67 sivua 26.4.2009
Koulutusohjelma	tietotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	yliopettaja Matti Puska yliopettaja Matti Puska
<p>Insinööriyössä tutkittiin langattoman lähiverkon vaiheittaista päivittämistä IEEE 802.11g -standardin laitteista IEEE 802.11n -standardin laitteisiin. Tavoitteena oli tutkia teorian ja käytännön mittauksien pohjalta paras mahdollinen vaihtoehto verkon päivityksen toteuttamiseksi. Työhön liittyvät mittaukset suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa ja laitteilla.</p> <p>Työn alussa selvitettiin langattomiin lähiverkkoihin liittyviä teoreettisia yksityiskohtia, joiden perusteella rakennettiin käytännön testausta varten soveltuvat ympäristöt. Mittauksien pääpaino oli tiedonsiirtonopeuden mittaamisessa eri verkkokokonaisuuksissa. Sen lisäksi mitattiin signaalinvoimakkuutta ja uudelleenlähetysten määrää.</p> <p>IEEE 802.11n -standardi ei ollut vielä valmis työntekovaiheessa. Käytössä olevat laitteistot pohjautuivat IEEE 802.11n Draft 2 -standardiluonnokseen ja osittain sen vuoksi laitteiston yhteensopivuus ei ollut toivotulla tasolla. IEEE 802.11n -laitteiston yhteysongelmista huolimatta verkkojen rinnakkaistoimintaa onnistuttiin testaamaan menestyksekkäästi.</p> <p>Mittausten perusteella huomattiin, että IEEE 802.11n -verkon tiedonsiirtonopeus oli huomattavasti parempi kuin IEEE 802.11g -verkon. Verkkojen rinnakkaistoiminta aiheutti enemmän häiriötekijöitä IEEE 802.11g -verkon toimintaan kuin IEEE 802.11n -verkon toimintaan. Molempien standardien laitteiden toimiessa samassa verkossa IEEE 802.11n -päätelaitteiden tiedonsiirtonopeus aleni merkittävästi, mutta oli silti moninkertaisesti parempi kuin IEEE 802.11g -päätelaitteiden.</p> <p>Tuloksista pystyttiin päättelemään, että langattoman lähiverkon päivitys IEEE 802.11g -standardin laitekannasta IEEE 802.11n -standardin laitteisiin vaatii erityisesti taajuusalueen käytön tuntemista, jotta verkkojen toiminta olisi optimaalinen. IEEE 802.11n -standardin laitteet käyttävät hyväkseen useamman antennin tekniikkaa ja sen vuoksi optimaalinen tukiasemien sijoittelu on haasteellisempaa kuin IEEE 802.11g -standardin laitteiston kanssa.</p> <p>IEEE 802.11n -verkon käyttäminen 40 MHz:n taajuuskanavalla 2,4 GHz:n taajuusalueella vei suuren osan koko käytettävissä olevasta taajuusalueesta. Jos IEEE 802.11n -verkossa halutaan käyttää 40 MHz:n taajuuskanavaa, olisi järkevää käyttää sitä vain 5 GHz:n taajuusalueella. Käytettävissä olleissa laitteissa ei ollut mahdollisuutta käyttää 5 GHz:n taajuusalueen kanavia. Joten vaihtoehdon testaaminen testiympäristössä jäi selvittämättä.</p>	
Hakusanat	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, WLAN, langaton lähiverkko, päivitys

Author Title	Janne Kokkonen upgrading of the wireless local area network from IEEE 802.11g equipment to IEEE 802.11n equipment
Number of Pages Date	67 26 April 2009
Degree Programme	Information Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Matti Puska, Principal Lecturer Matti Puska, Principal Lecturer
<p>The purpose of this engineering project was to examine the gradual upgrading of the wireless local area network from IEEE 802.11g standard equipment to IEEE 802.11n standard equipment. The aim was to explore the theoretical background of the wireless technology and to build and test different kinds of wireless network configurations in practice. All testing and measurements were done at the premises of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences by using its equipment.</p> <p>The examination of IEEE 802.11 standard was done. The testing environments were created by the knowledge of the theoretical features of wireless technologies. The main focus in the testing was on measuring data transfer speed. Signal strength and data resending were also measured.</p> <p>IEEE 802.11n was not standardized at the moment of this project. All the theory and the equipment were based on IEEE 802.11n Draft 2 standard version.</p> <p>The practical part of this project considered both IEEE 802.11g and IEEE 802.11n networks separately and concurrently. Even though there were numerous compatibility difficulties with IEEE 802.11n equipment, the measurements were done successfully.</p> <p>Based on the measurements it was found out that the maximum transfer speed of IEEE 802.11n network was significantly faster than that of the IEEE 802.11g network. Collective operation of the networks had much more impact on the transfer rates of IEEE 802.11g network. When devices complying with either standard were in the same network the transfer speed of the IEEE 802.11n -compliant device was significantly lower than in the situation when it was using its own separate network.</p> <p>Conclusions were that the knowledge of frequency usage in the area is much more important with IEEE 802.11n equipment than with IEEE 802.11g equipment. The IEEE 802.11n devices use multiple antennas for data transfer which makes placement of access points difficult when the most optimal network environment is aimed for. Using a IEEE 802.11n network with a 40 MHz channel in the 2.4 GHz frequency range covers a huge part of the whole frequency domain. Therefore it is recommended that IEEE 802.11n network is used with a 40 MHz channel only in the 5 GHz frequency range.</p>	
Keywords	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, wireless local area network, upgrading

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet

1 Johdanto	8
2 Langattomat radioverkot	10
2.1 Wireless Local Area Network	10
2.2 Langattoman lähiverkon rakenne	14
2.3 Laitteet	14
2.4 Antennit	15
3 IEEE 802.11 -standardi	17
3.1 IEEE 802.11	17
3.1.1 Fyysinen kerros	17
3.1.2 Suorasekvenssi hajaspektri	18
3.1.3 Taajuushyppely hajaspektri	18
3.1.4 OFDM	19
3.1.5 Siirtoyhteyserros	20
3.1.6 Kanavointi	20
3.2 IEEE 802.11g	23
3.3 IEEE 802.11n	24
3.3.1 Multiple Input Multiple Output (MIMO)	24
3.3.2 Kaistanleveys	26
3.3.3 IEEE 802.11n toimintatilat	27
4 Erilaiset päivitysvaihtoehtomallit	28
5 Mittausjärjestelyt	29
5.1 Mittaustuloksiin mahdollisesti vaikuttavat häiriötekijät	29
5.2 Mitattavat suureet	30
5.3 Testiverkot	30
5.3.1 Laitteet	30
5.3.2 Laitesijoittelu	31

5.3.3 Alkuperäinen langaton verkko	32
5.3.4 Osittain päivitetty langaton verkko	35
5.3.5 Täysin päivitetty verkko.....	37
5.3.6 Mixed-HT -tila	38
6 Tulokset.....	39
6.1 Runkoverkko	40
6.2 IEEE 802.11g -verkko.....	42
6.2.1 Yksi tukiasema ja yksi päätelaite	42
6.2.2 Yksi tukiasema ja kaksi päätelaitetta	44
6.2.3 Kaksi tukiasemaa ja kaksi päätelaitetta.....	45
6.3 IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11n -verkot rinnakkain.....	47
6.3.1 IEEE 802.11n -verkko 40 MHz:n taajuuskaistalla.....	47
6.3.2 IEEE 802.11n -verkko 20 MHz:n taajuuskaistalla.....	50
6.4 IEEE 802.11n -verkko.....	53
6.4.1 Verkossa vain IEEE 802.11n -laitteita	53
6.4.2 Mixed-HT -tila	54
7 Johtopäätökset	56
Lähteet.....	58
Liitteet	60
Liite 1: Tilan taustakohina ennen langattoman verkon rakentamista.....	60
Liite 2: IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 11 ...	61
Liite 3: IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 10 ...	62
Liite 4: IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 9	63
Liite 5: Network Stumbler -PC-ohjelman data, Laptop1 kanavalla 11	64
Liite 6: Network Stumbler -PC-ohjelman data, Laptop1 kanavalla 10.....	65
Liite 7: Network Stumbler -PC-ohjelman data, Laptop1 kanavalla 9.....	66
Liite 8: IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 13 ...	67

Lyhenteet

A/D	Analog to Digital
ACK	Acknowledgement
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AP	Access Point
BSS	Basic Service Set
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CFP	Contention Free Period
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CTS	Clear To Send
DCF	Distributed Coordination Function
DIFS	Distributed InterFrame Space
dB	Decibel
dBi	Decibel isotropic
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EIFS	Extended InterFrame Space
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ESS	Extended Service Set
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FTP	File Transfer Protocol
Gbps	Gigabit per second
GHz	Gigahertz
HT	High Throughput
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LLC	Logical Link Control

MAC	Media Access Control
MB	Megabyte
Mbps	Megabit per second
MIMO	Multiple Input Multiple Output
Mt/s	megatavua sekunnissa
mW	milliwatti
NAV	Network Allocation Vector
nm	nanometri
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model
PC	Personal Computer
PCF	Point Coordination Function
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Personal Digital Assistant
PIFS	Point Coordination InterFrame Space
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol
PMD	Physical Medium Dependent
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RTS	Request To Send
SIFS	Short InterFrame Space
SM	Spatial Multiplexing
STBC	Space-Time Block Coding
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TxBF	Transmit Beamforming
USB	Universal Serial Bus
WEP	Wired Equivalent Privacy
WLAN	Wireless Local Area Network
wmv	Windows media video
WPA	Wi-Fi Protected Access

1 Johdanto

Insinööriyön aiheeksi on valittu langattoman verkon vaiheittainen päivitys. Työn tarkoituksena on tutkia mahdollisia haittavaikutuksia langattoman verkon asteittaisessa päivittämisessä IEEE 802.11g -standardin (Institute of Electrical and Electronics Engineers) laitteista IEEE 802.11n -standardin laitteisiin. Sekä sen lisäksi mittauksien ja teorian pohjalta laatia paras mahdollinen vaihtoehto verkon päivittämisen toteuttamiseksi.

Insinööriyöhön liittyvät mittaukset on tehty Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa ja laitteilla Leppävaarassa helmikuussa 2009.

Työn aihe on ajankohtainen, koska tällä hetkellä laajalti käytössä oleva langaton tiedonsiirtoverkko IEEE 802.11g -standardin laitteilla on käymässä ahtaaksi. Langattomien päätelaitteiden yleistymisen yrityksissä pienentää yksittäisen päätelaitteen saamaa kaistanleveyttä. Sen vuoksi tukiasemien ja päätelaitteiden päivittäminen nopeampaan tekniikkaan on tällä hetkellä ja lähitulevaisuudessa ajankohtaista pienissä ja keskisuurissa yrityksissä, jotka käyttävät langatonta verkkoa.

Syy, miksi juuri vaiheittainen langattoman verkon päivittäminen on valittu, on käytännöllisyys. Kaikista helpoin ja yksinkertaisin vaihtoehto yrityksen langattoman verkon päivittämiseen olisi vaihtaa kaikki tukiasemat ja päätelaitteet kerralla uusiin. Tämä ei kuitenkaan ole yrityksissä yleensä mahdollista. Päivitys vie, yrityksen koosta riippuen, aikaa kunnes kaikki laitteet on saatu vaihdettua uusiin.

Haasteena tässä työssä on mitata oikeat suureet käytännössä ja rakentaa testausta varten verkko, joka oikeasti simuloi todellista tilannetta mahdollisimman aidosti. Sen lisäksi on haasteellista määrittää optimaalinen päivitysratkaisu tilanteeseen.

IEEE 802.11n -standardi ei ole vielä työntekovaiheessa täysin valmis. Ja sen vuoksi jotkin yksityiskohdat saattavat muuttua standardin valmistuttua. Työssä käytetään IEEE

802.11n -standardiluonnoksesta uusinta saatavilla olevaa tietoa. Rakennetuissa testiverkoissa IEEE 802.11n -standardin laitteet ovat Draft 2.0 -standardiluonnokseen pohjautuvia.

2 Langattomat radioverkot

2.1 Wireless Local Area Network

Langattoman lähiverkon IEEE 802.11 -standardin ensimmäinen versio hyväksyttiin vuonna 1997 ja siitä parannettu versio vuonna 1999 [1, s. 230]. Suositusta ovat seuranneet laajennukset: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b ja IEEE 802.11g. IEEE 802.11a tukee 54 Mbps:n siirtonopeuksia 5 GHz:n ISM-alueella (Industrial, Scientific and Medical). IEEE 802.11b puolestaan tukee 11 Mbps:n siirtonopeuksia 2,4 GHz:n ISM-alueella. Vuonna 2003 hyväksytty laajennus IEEE 802.11g tukee 54 Mbps:n siirtonopeuksia 2,4 GHz:n taajuusalueella. [2.]

IEEE 802.11 -standardin suositus määrittelee kaksi topologiaa: vertaisverkko (Ad-Hoc) ja infrastruktuurinen verkko. Vertaisverkossa WLAN-laitteet (Wireless Local Area Network) keskustelevat ainoastaan toisten WLAN-laitteiden kanssa omassa verkkoympäristössään. Tämäntyyppinen ratkaisu on hyödyllinen silloin kun tarvitaan tiedonsiirtoa pienen ryhmän kesken. Vertaisverkko on helppo muodostaa, eikä se tarvitse monimutkaista verkonhallintaa. [3.]



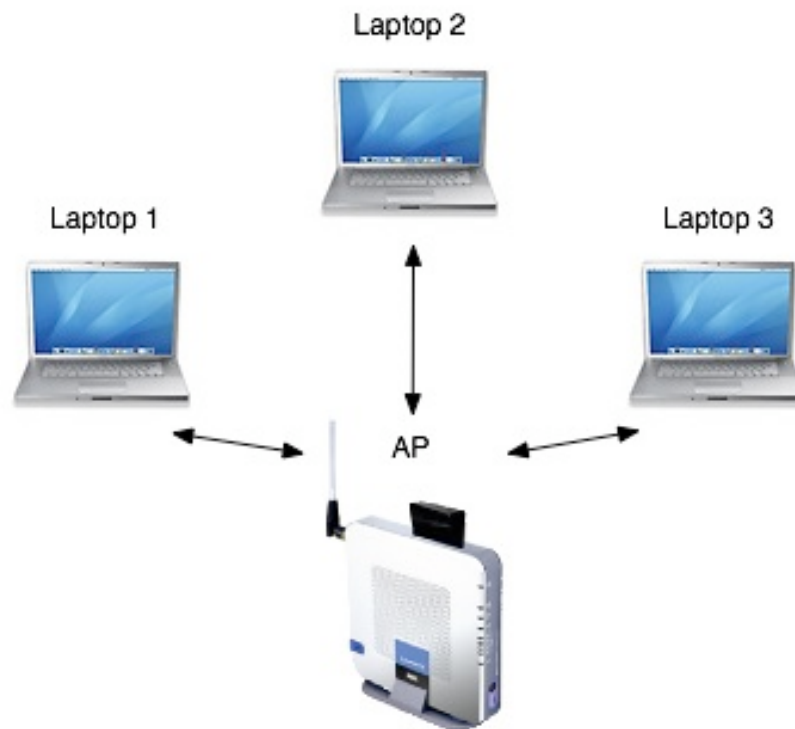
Kuva 1. Vertaisverkko eli Ad-Hoc verkko

Kuvassa 1 on kuvattu yksinkertainen vertaisverkko, jossa on kolme kannettavaa tietokonetta. Kuvasta voi myös nähdä yhden mahdollisen verkon ongelman. Tietokoneet Laptop1 ja Laptop3 eivät välttämättä havaitse toisiaan niin sanotun hidden station -ongelman takia. Hidden station -tilanne syntyy, kun Laptop1 ja Laptop3 ovat niin kaukana toisistaan, etteivät ne kuule suoraan toisiaan [4, s. 7]. Joten Laptop1 ja Laptop3 eivät pysty siirtämään tietoa toisilleen, vaikka ne kuuluisivatkin samaan verkkoon. IEEE:n suosituksessa kielletään työaseman toimiminen kytkimenä tai välittäjänä kahden osapuolen välillä [1, s. 231].

Verkossa voi myös tapahtua törmäyksiä, kun kaikki päätelaitteet eivät kuule toisiaan [4, s. 7]. Kuvan yksi tilanteessa Laptop1 saattaa olettaa kanavan olevan vapaa, vaikka Laptop3 olisikin lähettämässä dataa. Jos kaikki liikenne kulkisi tukiaseman kautta, törmäyksiltä välttyttäisiin, koska silloin tukiasema jakaisi lähetysvuorot päätelaitteille [4, s. 8].

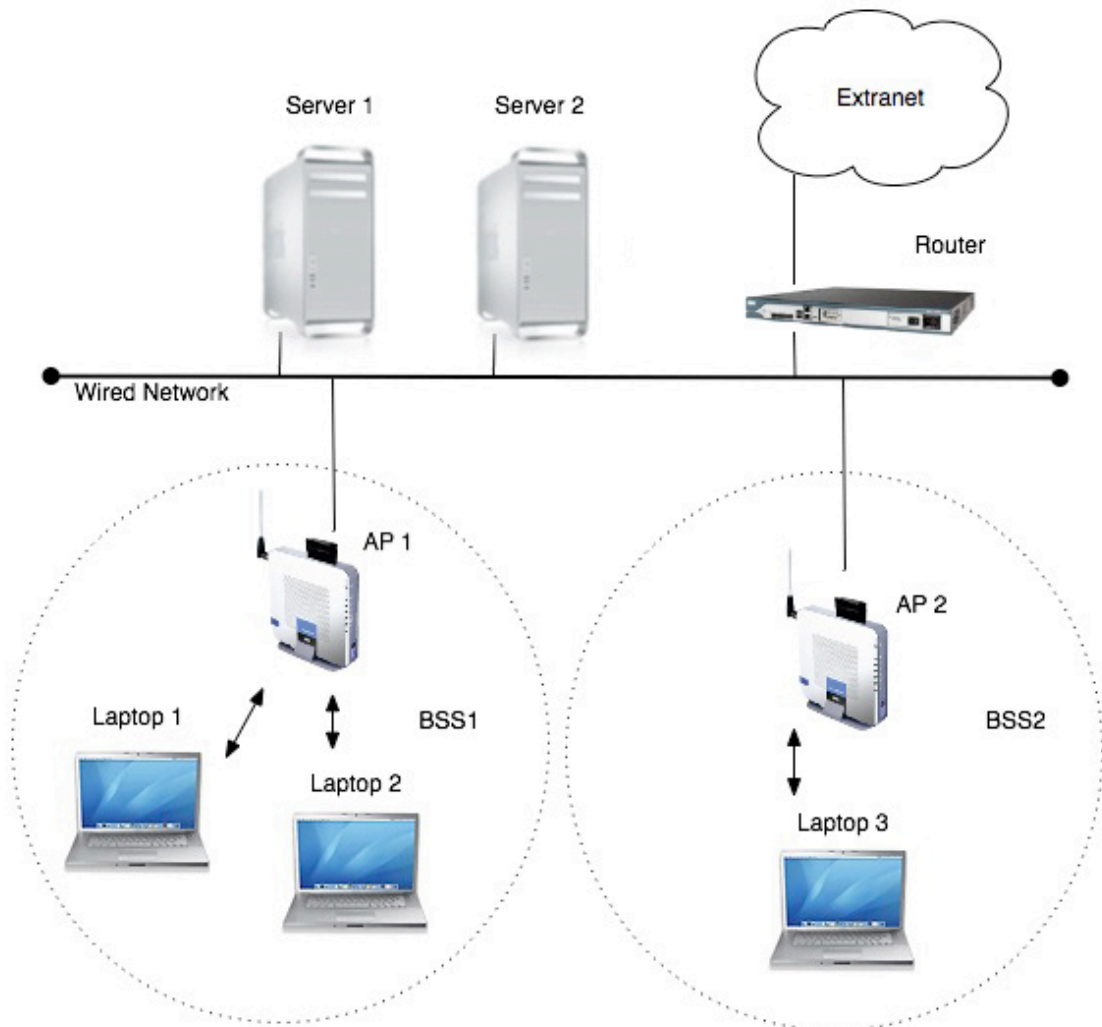
Kuvan 1 kaltaisesta verkosta, jossa laitteet eivät kytkeydy kiinteään verkkoon, käytetään lyhennettä IBSS (Independent Basic Service Set). Verkko on yleensä muodostettu tilapäisestä käyttöä varten, esimerkiksi kokouksessa tai koulutustilaisuudessa. [1, s. 231]

Infrastruktuurisessa langattomassa lähiverkossa on vähintään yksi tukiasema, joka on liittynään langalliseen lähiverkkoon. Arkkitehtuuri perustuu solutekniikkaan, jossa yhden järjestelmän kattama alue on jaettu palvelimien hallitsemiin soluihin [1, s. 230]. Solusta käytetään standardissa lyhennettä BSS (Basic Service Set) ja solua hallitsevasta tukiasemasta lyhennettä AP (Access Point). Kuvassa 2 on esitelty yhden solun BSS-verkko, jossa yhteen tukiasemaan on liittynyt kolme kannettavaa tietokonetta.



Kuva 2. BSS-verkko

Verkkoa voidaan myös laajentaa kytkeällä useampi tukiasema runkoverkkoon, jossa on kiinni palvelin tai palvelimia. Useamman tukiaseman verkosta käytetään lyhennettä ESS (Extended Service Set). ESS-järjestelmässä käytetään yleensä roaming-tekniikkaa, jolloin päätelaite osaa automaattisesti vaihtaa tukiasemaa paremman signaalin omaavaan tukiasemaan. Kuvassa 3 on yksinkertainen ESS-verkko.



Kuva 3. Esimerkki ESS-verkosta

Ensimmäiset langattoman verkon sovellukset olivat valmistajakohtaisia. Nämä vaativat tietyn valmistajan erikoislaitteita toimiakseen. Standardin valmistuttua eri laitevalmistajien laitteiden yhteensopivuus parani. Ja tällä hetkellä perustoiminnot laitteiden välillä toimivat yleensä laitteiden valmistajasta riippumatta, kun käytössä on IEEE 802.11a-, IEEE 802.11b- tai IEEE 802.11g -laajennus.

WLAN-verkon käyttötarkoitus on sama kuin langallisen tietoliikenneverkon eli siirtää tieto samassa lähiverkossa olevien laitteiden välillä [3.]. Langaton verkko eroaa kuitenkin yhdellä merkittäväällä tavalla langallisesta verkosta. Langalliset verkot ovat yleensä kytkentäisiä verkkoja, joissa kytkin tarjoaa jokaiselle portille saman kaistanleveyden riippumatta kytkimeen liitettyjen laitteiden määrästä. Langattomassa

verkossa laitteet taas toimivat jaetulla medially. Medially tarkoitetaan tässä yhteydessä verkon osaa, jossa tieto siirretään laitteiden välillä. Langallisessa lähiverkossa media on siis yleensä kuparijohdin ja langattomassa lähiverkossa mediana toimivat radioaalto. Jaetun median verkossa on kaikilla laitteilla yhteinen maksimitiedonsiirtokapasiteetti.

2.2 Langattoman lähiverkon rakenne

Langattoman verkon käyttö on samantyyppistä kuin Ethernetin eikä siinä sen vuoksi voi määritellä kuin OSI-kerrosmallin (Open Systems Interconnection Reference Model) kaksi alinta kerrosta: fyysisen kerroksen (kerros 1) ja siirtokerroksen (kerros 2). Fyysinen kerros sisältää protokollat, joissa määritellään konkreettiset toimintatavat, joilla tiedonsiirto tapahtuu. Siirtokerroksen tehtävänä on määritellä tavat, joilla fyysistä kerrosta käytetään. Siirtokerroksesta WLAN-standardit määrittelevät ainoastaan alemman osakerroksen eli median käyttökontrollikerroksen MAC (Media Access Control). MAC-kerros kuuluu standardiin sen vuoksi, että sen avulla voidaan muodostaa helposti nopeampia ja luotettavia verkkoja ilman, että koko standardi pitää rakentaa uudestaan. [3.]

Langattoman verkon toiminta on suunniteltu suhteellisen pienelle toiminta-alueelle. Pieni lähetysteho rajaa kantaman pariin sataan metriin, vaikka käytössä olisivat suuntaavat antennit ja ympäristössä olisi vain vähän häiriötekijöitä. Lähetystehoa rajoitetaan, koska WLAN-standardi käyttää vapaasti käytössä olevaa taajuusaluetta. Pieni lähetysteho rajoittaa myös omalta osaltaan WLAN-verkkojen päällekkäisyyksiä. Suomessa suurin sallittu lähetysteho on 100 mW käytettäessä IEEE 802.11b- tai IEEE 802.11g -standardia [4, s. 22].

2.3 Laitteet

WLAN-laitteet ovat yleistyneet viime vuosina kovasti. Lähes kaikissa uusissa kannettavissa tietokoneissa, PDA-laitteissa (Personal Digital Assistant) ja älypuhelimissa on sisäänrakennettu WLAN-kortti. Erillisiä verkkoadaptereja, jotka

liitetään USB- (Universal Serial Bus), PCMCIA- (Personal Computer Memory Card International Association) tai PCI-väylään (Peripheral Component Interconnect) on myös saatavilla.

Langattomat tukiasemat ovat myös hyvin yleisiä. Monet laitevalmistajat valmistavat langattomia tukiasemia, jotka ovat niin sanottuja All-In-One -laitteita. Niissä on tukiaseman lisäksi moniporttinen kytkin, reititin ja modeemi samassa laitteessa. Ne ovat hyviä vaihtoehtoja koteihin ja pieniin yrityksiin.

Langattoman lähiverkon laitteisiin kuuluu myös silta. Sillan toiminta eroaa tukiaseman toiminnasta siten, että se ei tarjoa yhteyksiä langattomille päätelaitteille. Sillat yhdistävät verkon eri osat yhdeksi kokonaisuudeksi. Esimerkiksi kahden rakennuksen tietoliikenneverkot voidaan yhdistää langattoman sillan avulla [5.].

2.4 Antennit

Kaikissa langattoman verkon laitteissa on oltava antenni. Nykyään antenni ei välttämättä ole ulkoisesti nähtävissä, vaan se on sisäänrakennettu laitteen sisälle. Antennilla on merkittävä osa radioteillä kulkevan signaalin vastaanottamisessa sekä sen lähettämisessä. Lähetysteho nostamalla pystytään saavuttamaan parempi signaalikohinasuhde. Lähetystehoa on kuitenkin rajoitettu viranomaisten taholta. Euroopan alueella lähetysteho on rajoitettu ISM-kaistalla 100 mW:iin EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) [4, s. 22].

Antennien lähetystehon ohella tärkeä ominaisuus antenneissa on suuntakuvio. Suuntakuvioita ovat ympärisäteilevä, suuntaava ja sektori. Yleinen langattomassa lähiverkossa käytetty antenni on 2,14 dBi:n (Decibel isotropic) dipoliantenni, joka on suuntakuvioiltaan ympärisäteilevä. Ympärisäteilevät antennit eivät suuntaa signaalia mihinkään tiettyyn suuntaan, vaan niiden suuntakuvio on 360° antennin ympärille vaakatasossa. Pystytasossa suuntakuvion sektori on noin 75°, riippuen antennin valmistajasta. [6.]

Antennin signaalin vahvistusta kuvataan usein vertaamalla antennia teoreettiseen pisteantenniin. Pisteantenni on isotrooppinen säteilijä, joka lähettää signaalia jokaiseen suuntaan samalla voimakkuudella. Isotrooppisen antennin vahvistus on 0 dB (Decibel). Verratessa oikeita antennia teoreettiseen pisteantenniin käytetään antennin aiheuttamasta vahvistuksesta yksikköä dBi. [6.]

Paras signaali saavutetaan, kun antennien välillä on mahdollisimman vähän esteitä. Tukiaseman kantama voi olla hyvissä olosuhteissa jopa 200 metriä. Sokkeloisessa huoneistossa signaali saattaa jopa parantua seinistä tapahtuvien heijastusten ansiosta [7.]. Joten esteiden ja seinien vaikutusta on hyvin vaikea määrittää tarkasti matemaattisesti.

3 IEEE 802.11 -standardi

3.1 IEEE 802.11

3.1.1 Fyysinen kerros

Fyysinen kerros on OSI-mallin alin kerros, jonka tehtävänä on välittää siirtoyhteyskerroksen kehys fyysisellä siirtotiellä.

IEEE 802.11 -standardi tarjoaa kolme erilaista vaihtoehtoa fyysisen kerroksen toteuttamiseen. Kaksi niistä perustuu radiotaajuuden käyttämiseen: suorasekvenssi hajaspektri eli DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) ja taajuushyppely hajaspektri eli FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Kolmas vaihtoehto toteutukselle perustuu infrapunasäteen hyväksikäyttämiseen. [8.]

Fyysinen kerros on jakautunut kahteen alikerrokseen. Ylempi niistä on konvergenssiprotokolla eli PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) ja alempi on mediasta riippuva kerros eli PMD (Physical Medium Dependent).

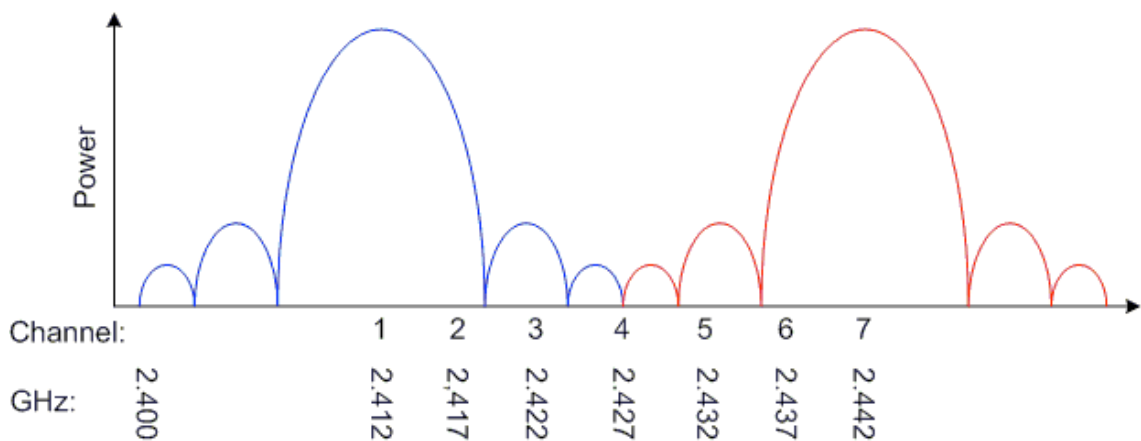
Konvergenssiprotokolla sovittaa suurimman mahdollisen bittinopeuden lähettäjän ja vastaanottajan tietojen pohjalta. PMD:n tehtävänä on määritellä kanavointitapa, käytettävä hajaspektritekniikka ja modulointi [9.].

Fyysisen kerroksen käyttämä radiotaajuus on joko 2,4 GHz:n tai 5 GHz:n ISM-alueella. Jos toteutukseen käytetään infrapuna, on käytössä 850–890 nm:n aallonpituudella toimiva sähkömagneettinen säteily [1, s. 234].

ISM:n sääntöjen mukaan datansiirtoon radiotiellä on perustuttava hajaspektritekniikkaan [1, s. 234]. Tekniikka kehitettiin alun perin sotilaskäyttöön, jossa tarvitaan erityistä luotettavuutta ja turvallisuutta tiedonsiirrossa. Tämän saavuttamiseksi tarvitaan laajaa kaistanleveyttä [8.].

3.1.2 Suorasekvenssi hajaspektri

Suorasekvenssi hajaspektrin käytössä on Euroopassa IEEE 802.11b/g -verkoissa 2,4–2,485 GHz:n [1, s. 234] välinen taajuusalue. IEEE 802.11 -standardin mukaan DSSS käyttää jatkuvasti 22 MHz:n suuruisia taajuuskaistaa. Koko taajuusalue on jaettu 14 kanavaan, joista Euroopassa ei ole käytössä kuin 13. Niinpä saavutetaan vain kolme kanavaa (1, 7 ja 13), joiden taajuusalueissa ei ole päällekkäisyyksiä [10.]. Jos käytetään kanavia joiden taajuusalue on päällekkäin, aiheutuu tiedonsiirtoon häiriöitä. Onkin suoriteltavaa, että kanavien keskitaajuuksien minimiväli on vähintään 30 MHz. Kuvassa 4 on havainnollistettu kanavien 1 ja 7 väliä.



Kuva 4. DSSS:n kanavoinnin käytössä ovat kanavat 1 ja 7

3.1.3 Taajuushyppely hajaspektri

FHSS-tekniikalla toteutettu tiedonsiirto on yksinkertaisempaa kuin DSSS-tekniikalla toteutettu tiedonsiirto. Taajuushyppely hajaspektrissä ei käytetä ISM-taajuuskaistaa samalla tavalla kuin DSSS-tekniikassa. Siinä taajuusalue jaetaan kapeisiin alikanaviin ja vain yhtä alikanavaa käytetään kerrallaan. Käytössä oleva alikanava muuttuu koko ajan. Kanavan muuttuminen tietyllä toiselle alikanavalle tapahtuu algoritmin mukaisesti [11.]. Käytettävä taajuushyppelyalgoritmi voi olla satunnainen tai ennalta sovittu, joka

on vain lähettäjän ja vastaanottajan tiedossa [11.]. Tiedon salakuunteleminen on erittäin hankalaa ilman oikeaa algoritmia.

Signaalin lähettäminen vaatii koko taajuusalueen käyttämistä, vaikkakin yhdellä tietyllä ajanhetkellä taajuusalueesta ei ole kuin pieni osa käytössä. Taajuushyppely hajaspektrin käyttämisen tekee haastavaksi lähettäjän ja vastaanottajan synkronointi.

Taajuushyppely hajaspektri on kehitetty tietoturvan kasvattamiseen, mutta WLAN-käyttöön se ei sovellu sen tiedonsiirtonopeuden vuoksi. FHSS:llä pystytään saavuttamaan maksimissaan vain 2 Mbps:n tiedonsiirtonopeus. Sen lisäksi FHSS:llä on heikko virheensietokyky. Jos jollain taajuusalueella esiintyy häiriötekijöitä, tiedonsiirto ei välttämättä onnistu lainkaan, koska osa siirretyistä biteistä menetetään. [3.]

3.1.4 OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) on modulointitapa, joka perustuu tiedon siirtämiseen lukuisilla rinnakkaisilla kantaalloilla samanaikaisesti. Signaali jaetaan useisiin kapeakaistaisiin kanaviin, joilla on eri taajuudet. Tekniikkaa käytetään WLAN:n IEEE 802.11a- ja IEEE 802.11g -standardien lisäksi muun muassa ADSL:ssä (Asymmetric Digital Subscriber Line) ja digitaalisissa televisiolähetyksissä. [12.]

OFDM käyttää sekä aikajakokanavointia TDMA (Time Division Multiple Access) että taajuusjakokanavointia FDMA (Frequency Division Multiple Access) hyväkseen.

Nykyisin käytössä olevat menetelmät perustuvat diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen, jossa moduloitava symboli kuvaa kompleksilukuina esitettyjä taajuuksien voimakkuuksia ja vaihekulmia. Ne muunnetaan diskreetillä Fourier-käänteismuunnoksella digitaalisen signaalin vaihteluksi. Digitaalinen signaali muunnetaan analogiseksi kantataajuiseksi OFDM-signaaliksi A/D-muuntimien (Analog to Digital) avulla. Kantataajuista signaalia voidaan käyttää sellaisenaan tai sitä voidaan käyttää moduloimaan radiotaajuista kantaaltoa. [4.]

OFDM:n vahvuuksia ovat hyvä häiriönsietokyky ja tehokas taajuuskaistan spektrin hyödyntäminen.

3.1.5 Siirtoyhteyskerros

Siirtoyhteyskerros on fyysisen kerroksen tavoin jaettu kahteen alikerrokseen. Ylempi näistä on nimeltään LLC (Logical Link Control), ja sen tehtävänä on huolehtia protokollan multipleksoinnista sekä virheiden havaitsemisesta, toipumisesta ja tietovuon hallinnasta. [14.]

Alempi alikerros on nimeltään MAC. Se huolehtii fyysisen siirtomedian saatavuudesta, langattomien linkkien muodostamisesta, roamingista ja virransäästötoiminnoista [8.]. IEEE 802.11 -standardin mukaan WLAN:ssa informaation välittämiseen tulisi käyttää CSMA/CA-menetelmää (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Ethernet-verkoissa käytössä olevaa CSMA/CD-tekniikkaa (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) ei ole mahdollista käyttää WLAN-verkoissa, koska lähettävän aseman pitäisi pystyä samanaikaisesti kuuntelemaan radiotaajuutta.

Kun paketti lähetetään langattomassa verkossa, odotetaan paketille aina vahvistusta ACK (Acknowledgement). Jos vahvistusta ei tule tietyn ajan kuluessa, paketti lähetetään uudestaan.

3.1.6 Kanavointi

WLAN-verkossa kanavanvaraus on mahdollista tehdä joko keskitetysti PCF-menetelmällä (Point Coordination Function) tai hajautetusti käyttäen DCF-menetelmää (Distributed Coordination Function). Molemmat menetelmät voivat olla käytössä yhtä aikaa. Kaikkien laitteiden on kuitenkin osattava molempien menetelmien protokollat, vaikka vain toinen niistä olisikin käytössä.

Hajautettu menetelmä käyttää joko kaksivaiheista tai nelivaiheista tapahtumaa. Kaksivaiheisessa tapahtumassa ensimmäinen vaihe on datan lähettäminen ja toinen vaihe siihen saatu kiittäminen. Nelivaiheisessa tapahtumassa on ennen datan lähettämistä kanavanvaraussanomien RTS:n (Request To Send) lähettäminen sekä siihen saadun varauksen kiittaamisen CTS:n (Clear To Send) lähettäminen [1, s. 242]. CTS lähetetään ainoastaan jos kanava on vapaa. Mikäli RTS:n lähettänyt asema ei saa CTS-viestiä SIFS-viiveen (Short InterFrame Space) kuluessa RTS:n lähettämisestä, toteaa se verkossa tapahtuneen törmäyksen ja siirtyy toipumismenettelyyn [15].

Lähetettävän datan pituus ja verkon liikennemäärä määrittää kumpaa tapahtumaa käytetään. Mikäli verkossa on paljon liikennettä, on todennäköistä, että törmäyksiä tapahtuu. Pitkän sanoman todennäköisyys törmäykseen on myös suurempi kuin lyhyen. Nelivaiheisessa tapahtumassa lähetettävien varaussanomien mahdollisuus törmäykseen on pienempi kuin datasanomien, koska niiden bittimäärä on pienempi. Niinpä ruuhkaisessa verkossa on järkevää käyttää nelivaiheista tapahtumaa. [1, s. 243]

Nelivaiheisen tapahtuman käyttäminen hiden station -tilanteessa on myös suositeltavaa, koska se alentaa huomattavasti törmäyksien määrää. Tukiasema ilmoittaa CTS-viestillä päätelaitteelle, milloin verkko on vapaa ja lähettäminen on mahdollista [16.]. Tällöin päätelaitteet eivät lähetä dataa samanaikaisesti ja uudelleenlähetysten määrä vähenee.

RTS/CTS-mekanismi voi aiheuttaa paljon tarpeetonta liikennettä, jos verkossa ei ole paljon liikennettä ja kaikki laitteet ovat kuuloetäisyydellä toisiinsa. Tällöin voidaan asettaa kynnsarvo sanomapituudelle, jonka ylittyessä RTS/CTS-mekanismi otetaan vasta käyttöön.

WLAN-verkossa toimivat laitteet sisältävät laskurin, jolla määritetään kaksivaiheisella tapahtumalla lähetettävän sanoman maksimipituus. Jos tavumäärä ylittyy, lähetetään sanoma aina nelivaiheisella tapahtumalla. Laskurin oletusarvo on 128 merkkiä. [1, s. 243]

Langattomassa verkossa olevat laitteet eivät välttämättä kuule toisiaan ja siksi ajastintekniikka on tarpeellinen. Jokaisessa IEEE 802.11 -kehyksessä on kenttä, jossa ilmoitetaan menossa olevan tapahtuman kesto. NAV-ajastin (Network Allocation Vector) viritetään kentästä saatavalla tiedolla. NAV-ajastimen ollessa viritetty laite ei saa lähettää sanomia. Kun viritin on nolautunut ja kanava on ollut DIFS- (Distributed InterFrame Space) tai EIFS-viiveen (Extended InterFrame Space) verran vapaana, lähettäminen on taas sallittua. [1, s. 243]

Järjestelmässä käytetään erilaisia viiveitä. Viiveet ovat välttämättömiä verkon toiminnan kannalta, koska niiden avulla voidaan priorisoida tiedonsiirtoa verkossa.

SIFS on lyhyin viive. Kuittaukset lähetettyihin viesteihin oletetaan saapuvan tämän viiveen määrittämän ajan sisällä.

PIFS (Point Coordination InterFrame Space) on tukiaseman käyttämä viive, jolla se pystyy aina ottamaan vapaan siirtotien haltuunsa.

DIFS on viive, jonka laite pitää odottaa ennen kuin se voi lähettää dataa siirtotielle. Edellytyksenä lähetykselle on että NAV-ajastin on lauennut.

EIFS on viive, jota käytetään kun asema ei osaa tulkita verkosta vastaanotettua sanomaa. Tämä estää asemaa lähettämästä dataa verkkoon kesken menossa olevan tapahtuman. EIFS on viiveistä pisin, ja sen pituus riippuu siirrettävän datan pituudesta.

Keskitettyssä menetelmässä tukiasema hallitsee työasemia isäntä-renkiperiaatteella. Tukiasema kutsuu jokaista päätelaitetta vuorotellen, ja sen vuoksi päätelaitteet saavat ennakoitua, tasaisempaa palvelua. Erityisesti puhe- ja kuvansiirtoon keskitetty menetelmä soveltuu hyvin juuri sen tasaisuuden vuoksi.

Päätelaite vastaa tukiaseman lähettämään kyselyyn ja voi lähettää yhden sanoman. Jos päätelaitteella on useampi sanoma lähetettävä, on sen odotettava seuraavaa kyselykierrosta sen lähettämiseksi.

Aikaa, jonka tukiasema käyttää keskitettyyn hallintaan, kutsutaan nimellä CFP (Contention Free Period). Kyselykierroksen päätyttyä tukiasema lähettää CF-End-sanoman ilmoittamaan siirtotien olevan valmis muiden käytettäväksi. [1, s. 246]

Tukiasemat, jotka käyttävät PCF-hallintaa ovat harvinaisempia kuin DCF-hallintaa käyttävät. Laittevalmistajat ovat päätyneet ratkaisuihin, jotka käyttävät DCF-menetelmää. [1, s. 259]

3.2 IEEE 802.11g

IEEE 802.11 -standardin laajennusosa IEEE 802.11g julkaistiin vuonna 2003. Sillä saavutetaan teoriassa 54 Mbps:n tiedonsiirtonopeus. Käytännössä tiedonsiirtonopeus ei koskaan yllä siihen. Sen tyypillinen suoritusteho on noin 19 Mbps [17.]. Ero teoreettiseen ja todelliseen tiedonsiirtonopeuteen johtuu ympäristössä esiintyvistä sähkömagneettisista häiriötekijöistä, joita aiheuttavat lähes kaikki elektroniikkalaitteet.

IEEE 802.11g -laajennusosa on vastaavanlainen vuonna 1999 julkaistun IEEE 802.11a -laajennusosan kanssa. IEEE 802.11g toimii kuitenkin alkuperäisellä 2,4 GHz:n ISM-taajuusalueella kun IEEE 802.11a toimii 5 GHz:n taajuusalueella. Myös maksimilähetysteho eroaa laajennusosien välillä; IEEE 802.11g:ssä suurin sallittu lähetysteho Suomessa on 100 mW ja IEEE 802.11a:ssa 200 mW [4, s. 22].

IEEE 802.11g on yhteensopiva IEEE 802.11b:n kanssa. Ainoa eroavaisuus niiden välillä on fyysisellä kerroksella. Nopeampi IEEE 802.11g käyttää hyväkseen OFDM-tekniikkaa, jonka ansiosta se saavuttaa monikertaisen nopeuden IEEE 802.11b:hen verrattuna. [17.]

3.3 IEEE 802.11n

IEEE 802.11n -laajennusosa ei ole vielä standardoitu, vaikkakin sen Draft n -määritelmää tukevia laitteita on myynnissä useammalla valmistajalla. Oletetaan, että lopullinen versio standardista julkaistaan marraskuussa 2009 [18.].

Laajennusosan tarkoitus on parantaa selvästi tiedonsiirtonopeutta verrattuna 54 Mbps:n IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11a -laajennusosiin. Teoreettinen maksimitiedonsiirtonopeus on 600 Mbps, kun käytössä on 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) -modulointitapa. IEEE 802.11n tukee BPSK- (Binary Phase Shift Keying), QPSK- (Quadrature Phase Shift Keying), 16-QAM- ja 64-QAM -modulointia, ja se käyttää joko 2,4 GHz:n tai 5 GHz:n taajuusalueita. Niinpä IEEE 802.11n on hyvin taaksepäin yhteensopiva aikaisempien IEEE 802.11b-, IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11a -standardien kanssa. [8.]

3.3.1 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

IEEE 802.11n:ssä käytetään useamman antennin tekniikkaa (MIMO). Siihen on määritelty useita antenniratkaisuja, joissa vastaanottajan ja lähettäjän antennimäärät vaihtelevat yhden ja neljän välillä. Kuvassa 5 on esimerkki ”2 x 3” MIMO -järjestelmästä, jossa lähettäjällä on kaksi antennia ja vastaanottajalla kolme antennia.



Kuva 5. Esimerkki 2 x 3 MIMO:sta

MIMO:ssa antennien määrällä pystytään nostamaan tiedonsiirron nopeutta. Mitä suurempi on käytettävien antennien määrä, sitä nopeampi on tiedonsiirto. Tosin todelliseen nopeuteen vaikuttaa se, kuinka antennoja käytetään.

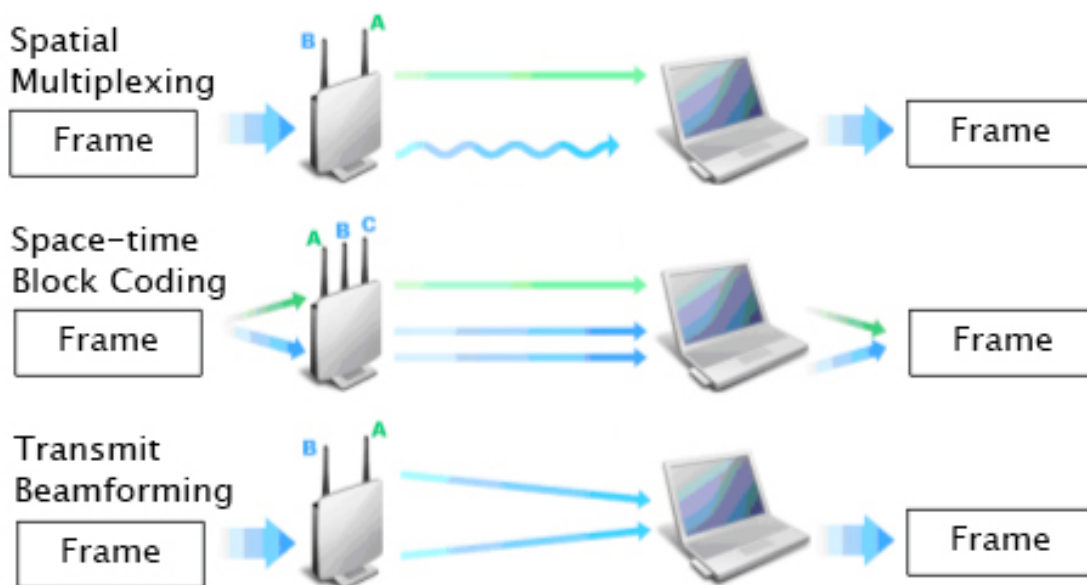
IEEE 802.11n:ssa on kolme tapaa määrittellä signaalinkäsittely antennien välillä: spatiaalinen multipleksointi, aika-avaruus-lohkokoodaus ja lähetyssäteen muodostus.

Spatiaalisessa multipleksoinnissa SM:ssä (Spatial Multiplexing) signaali jaetaan useaksi erilliseksi lohkoksi, jotka lähetetään eri antennien kautta. Vastaanottaja kokoaa lohkot yhteen ja näin alkuperäinen lähetetty data saadaan muodostettua. Kaikkien IEEE 802.11n -laitteiden täytyy osata käyttää vähintään kahta spatiaalista virtaa. Suurin käytettävissä oleva virtojen määrä on neljä. SM parantaa tiedonsiirtonopeutta, koska data siirtyy useampaa kuin yhtä virtaa pitkin. [19.]

Aika-avaruus-lohkokoodauksessa STBC:ssä (Space-Time Block Coding) lähettäjä lähettää signaalin usealla antennilla samanaikaisesti. Vastaanottaja vertaa eri antennilla lähetettyjä signaaleita keskenään. Näin vastaanottajalla on helpompi määrittää oikea alkuperäinen lähetetty data. STBC parantaa tiedonsiirron luotettavuutta. STBC voidaan yhdistää myös SM:n kanssa, jos lähettäjällä on enemmän antennia kuin vastaanottajalla. [19.]

Lähetyssäteen muodostus -tekniikalla TxBF:llä (Transmit Beamforming) signaali lähetetään suoraan kohti vastaanottajaa keskittämällä säteen energia vastaanottajan suuntaan. Tätä ominaisuutta ei ole vielä laajasti toteutettu IEEE 802.11n -laajennusosassa. [19.]

Kuvassa 6 havainnollistetaan kaikki kolme eri signaalinkäsittelyä.



Kuva 6. IEEE 802.11n -signaalinkäsittely usean antennin järjestelmässä

3.3.2 Kaistanleveys

Aiemmissa IEEE 802.11 -standardin laajennusosissa IEEE 802.11b:ssa ja IEEE 802.11g:ssa kaistanleveys on ollut 20 MHz 2,4 GHz:n ISM-taajuusalueella. IEEE 802.11n:ssa on mahdollista valita 40 MHz:n kaistanleveys. Kuitenkin koko käytettävissä olevan taajuusalueen leveys (2400–2483,5 MHz) on sama kuin ennenkin. Joten käytettäessä 40 MHz:n kaistanleveyttä tapahtuu päällekkäisyyksiä taajuusalueella huomattavasti todennäköisemmin. Päällekkäisyydet hidastavat verkkojen toimintaa, koska signaaliin tulee häiriöitä ja uudelleenlähetysten määrä kasvaa. Yhden 40 MHz:n kanavan käyttäminen ISM-taajuusalueella aiheuttaa päällekkäisyyttä yhdeksän 20 MHz:n kanavan kanssa [19.].

Onkin järkevää ottaa käyttöön 40 MHz:n kanavanleveys ainoastaan käytettäessä 5 GHz:n taajuusaluetta, joka ei ole niin ruuhkainen ja on myös huomattavasti leveämpi kuin 2,4 GHz:n taajuusalue.

Euroopassa 5 GHz:n taajuusalueella on käytettävissä kanavat, jotka ovat 5180–5320 MHz:n ja 5500–5700 MHz:n välisellä alueella. Kahden kanavan välinen taajuusero on

20 MHz, joka on huomattavasti suurempi kuin IEEE 802.11g:ssä käytettävä 5 MHz:n taajuusväli. [20.]

IEEE 802.11n -laitteiden sijoittaminen ei ole yhtä helppoa kuin IEEE 802.11b/g -laitteiden, jolloin laitesijoitus perustuu lähinnä signaalinvoimakkuuteen. IEEE 802.11n:n käyttämä useiden signaalivirtojen kokonaisuus hankaloittaa langattoman verkon tukiasemien sijoittelemista. Pelkästään signaalinvoimakkuus ei ole ratkaiseva tekijä. Radiosignaalin kartoitustyökalut ovat entistäkin tarpeellisempia laitesijoittelun lisäksi myös IEEE 802.11n -verkon sovittamiseen mahdollisen IEEE 802.11b/g -verkon rinnalle sekä kanavoinnin suunnittelun ja oikean modulointitavan valinnan kannalta.

3.3.3 IEEE 802.11n toimintatilat

IEEE 802.11n:ssa on mahdollista valita käytettävä toimintatila kolmesta vaihtoehdosta: HT (High Throughput), Non-HT ja HT Mixed.

HT-tilaa käytetään, kun käytössä ei ole IEEE 802.11b/g/a -verkkoa samalla taajuusalueella. Mikäli jokin IEEE 802.11b/g/a -verkko sijaitsee samalla taajuusalueella, ei IEEE 802.11n -verkko ole yhteydessä siihen millään tavalla.

Non-HT -tila lähettää kaikki kehykset samassa formaatissa kuin IEEE 802.11g/a -laitteet. Tukiasema käyttää 20 MHz:n kanavia, eikä tiedonsiirtonopeus ei ole yhtään parempi kuin IEEE 802.11g/a -laitteita käytettäessä.

HT Mixed -tila käyttää hyväkseen sekä IEEE 802.11n -standardia että aikaisempia IEEE 802.11g/a -standardeja. Se on siis hyvin taaksepäin yhteensopiva, mutta vain IEEE 802.11n -laitteet hyötyvät nopeammasta tiedonsiirrosta. Kuitenkin HT Mixed -tila on hitaampi kuin HT-tila IEEE 802.11n -laitteille, koska niiden täytyy lähettää IEEE 802.11g/a -kehysten aluke (preamble) HT-kehysten alukkeeseen lisäksi. [19.]

4 Erilaiset päivitysvaihtoehtomallit

Paras vaihtoehto langattoman IEEE 802.11g -verkon päivittämiseen nopeampaan IEEE 802.11n -verkkoon on vaihtaa kaikki tukiasemat ja päätelaitteet samalla kertaa.

Varsinkaan suurissa yrityksissä se ei ole mahdollista, koska laitteita on paljon ja kaikki yrityksen laitteet eivät välttämättä ole yrityksen tiloissa vaihdon hetkellä.

Mixed HT -tila IEEE 802.11n -standardin tukiasemissa antaa erittäin hyvän vaihtoehdon päivittämiseen, kun yrityksen laitekanta sisältää vanhempia IEEE 802.11g -standardin laitteita. Se ei anna yhtä nopeaa tiedonsiirtonopeutta kuin HT-tila, jossa on pelkästään IEEE 802.11n -laitteita, mutta se tarjoaa merkittävästi paremman tiedonsiirtonopeuden IEEE 802.11n -laitteille verrattuna IEEE 802.11g -laitteisiin.

On myös mahdollista rakentaa molemmille laitekannoille oma langaton verkko. Koska aikaisempi IEEE 802.11g -laitteille rakennettu verkko toimii 2,4 GHz:n taajuusalueella, kannattaa uudessa IEEE 802.11n -verkossa käyttää 5 GHz:n taajuusaluetta, jos se on mahdollista. Mahdollisimman nopean tiedonsiirron saavuttamiseksi on paras ottaa käyttöön 40 MHz:n kaistanleveys, jossa käytetään kahta normaalia 20 MHz:n kanavaa.

Lähistöllä sijaitsevat langattomat verkot vaikuttavat myös optimaalisen päivitysvaihtoehdon valintaan. Mikäli lähistöllä on paljon langattomia verkkoja, jotka toimivat 2,4 GHz:n taajuusalueella, on kannattavaa rakentaa erilliset verkot IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11n -laitteille ja ottaa uuden IEEE 802.11n -verkon käyttöön 5 GHz:n taajuusalue. Jos lähistöllä sijaitsee useita langattomia verkkoja, jotka toimivat 5 GHz:n taajuusalueella ja 2,4 GHz:n taajuusalueella ei ole ruuhkaa, on väliaikaiseen päivitystilanteeseen hyvä vaihtaa kaikki tukiasemat samalla kertaa ja ottaa käyttöön HT Mixed -tila 2,4 GHz:n taajuusalueella.

5 Mittausjärjestelyt

5.1 Mittaustuloksiin mahdollisesti vaikuttavat häiriötekijät

Insinööriyötä varten rakennettu testiverkko oli toteutettu Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa Leppävaarassa helmikuussa 2009. Koulussa toimii oppilaitoksen oma langaton verkko, jossa käytetään verkon optimoimisessa kontrolleria. Mittauksien ajan koulun verkko oli asetettu toimimaan ainoastaan kanavalla 1. Siitä huolimatta testiverkossa tehtäviin mittauksiin koulun omalla langattomalla verkolla oli jonkin verran vaikutusta.

Testiverkon tukiasemien sijoittamisessa ei käytetty analysaattoria, jolla tukiasemien sijoitus ja lähetysteho olisi voitu optimoida. Myös päätelaitteiden sijoittaminen tilaan oli jokseenkin satunnaista. Tukiasemat ja päätelaitteet sijoiteltiin tilan keskiosaan, jolla ajateltiin saavutettavan paras verkon peittoalue koko tilan kattamiseksi ja minimoitua seinistä tapahtuvat heijastukset. Päätelaitteet sijoiteltiin tasaisesti suhteessa tukiasemiin. Näin sijoiteltuna päätelaitteilla olisi todennäköisesti paras ja tasavertainen yhteys tukiasemiin ja koulun oma langaton verkko vaikuttaisi mahdollisimman vähän suoritettaviin mittauksiin.

Koulun langaton verkko ja taustahäiriösignaalit aiheuttivat mittaustuloksiin vaihtelevia virhetekijöitä. Mittaukset suoritettiin viitenä eri päivänä, jona aikana ympäristötekijät todennäköisesti vaihtelivat. Myös muiden opiskelijoiden satunnainen työskentely tilassa saattoi aiheuttaa mittaustuloksiin vaihteluita.

Käytössä olevassa tilassa heijastukset saattoivat vaikuttaa mittaustuloksiin. Varsinkin käytettäessä IEEE 802.11n -standardin laitteita seinistä tapahtuvat heijastukset vaikuttavat verkon suorituskykyyn. Valitsemalla erilainen päivitysjärjestys laitteita päivitettäessä olisivat mittaustulokset voineet vaihdella pelkkien huoneessa tapahtuvien heijastusten seurauksesta.

Laitteiden yhteensopivuus ei ollut hyvä. Ei edes saman laitevalmistajan laitteiden yhteistoiminta ollut kiitettävällä tasolla. IEEE 802.11n -standardi ei ollut valmis, ja laitteet perustuiivat Draft 2 -standardiluonnokseen.

5.2 Mitattavat suureet

Testiverkossa suoritettavat mittaukset painottuivat tiedonsiirtonopeuden ja signaalinvoimakkuuden mittauksiin erilaisissa langattoman verkon laitekokonaisuuksissa. Laitesijoittelulla ei pyritty vaikuttamaan suorituskykyyn. Tukiasemat ja päätelaitteet pidettiin jokaisessa verkkokokoonpanossa samoissa paikoissa. Näin suoritettavat mittaukset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia keskenään.

Myös uudelleenlähetettävien pakettien määrää seurattiin, mutta ainoastaan IEEE 802.11g -laitteiden osalta ja verkoissa, joissa oli vain IEEE 802.11g -laitteita. IEEE 802.11n -verkkokortin ja -tukiaseman statistiikassa ei ollut mainintaa uudelleenlähetystä vaativien pakettien määrästä.

5.3 Testiverkot

5.3.1 Laitteet

Langallinen runkoverkko muodostui palvelimesta, jona toimi Dell Latitude D531 -kannettava tietokone sekä kytkimestä ja tukiasemista. Kytkimenä toimi Cisco Catalyst 3550 Series -kytkin, jonka FastEthernet-porteista on mahdollista syöttää virtaa tukiasemille. Kytkimessä rajoittavana tekijänä on 1 Gbps:n porttien puuttuminen. Varsinkin käytettäessä IEEE 802.11n -laitteita tiedonsiirtonopeus saattaa ylittää 100 Mbps:n porttien tarjoaman nopeuden. Kun testattavana olevassa verkossa oli IEEE 802.11n -laitteita läsnä kytkimenä käytettiin Linksys WRT350N -tukiaseman neliporttista 1 Gbps:n kytkintä. Palvelimena toimineessa Dell Latitude D531

-kannettavassa tietokoneessa oli 1 Gbps:n integroitu verkkokortti.

IEEE 802.11n -standardin tukiasemia oli käytettävissä neljä: Linksys WRT350N, Zyxel NWA570N, D-link DIR-635 ja Linksys WAP4400N. IEEE 802.11n -standardin langattomia verkkokortteja oli vain kaksi kappaletta: Linksys WPC300N PCMCIA-väylään ja Linksys WUSB300N USB-väylään.

IEEE 802.11g -standardin tukiasemina toimi kaksi Cisco Aironet 1200 Series -tukiasemaa sekä päätelaitteiden langattomat verkkokortit olivat Cisco Aironet 802.11a/b/g Wireless Adapter -kortteja.

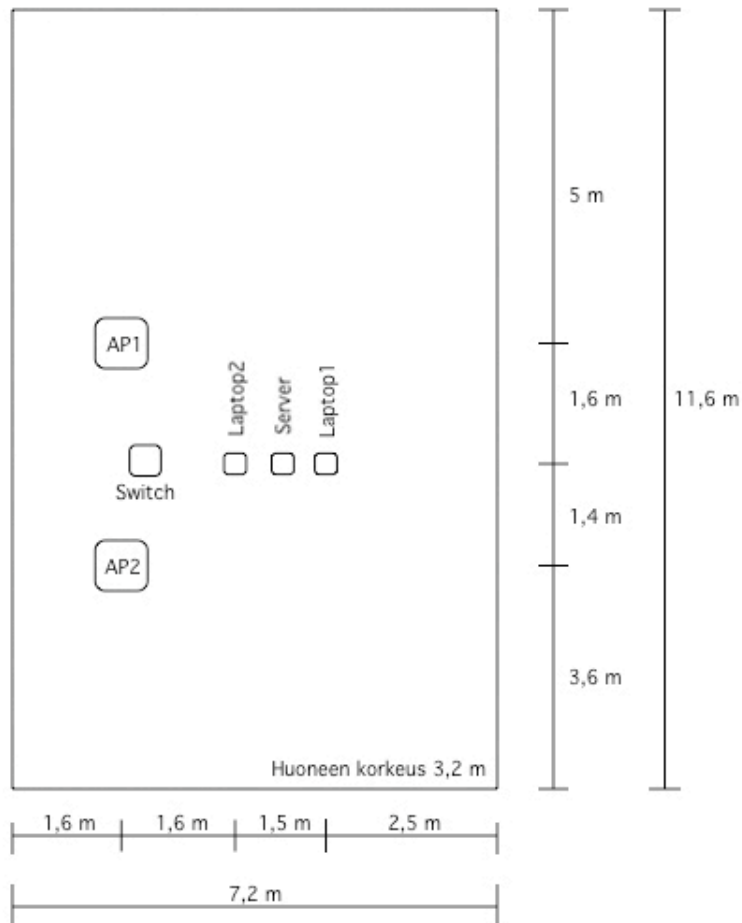
Päätelaitteina toimivat kaksi kappaletta Dell Latitude D531 -kannettavaa tietokonetta, joihin vaihdettiin PCMCIA-väyläistä langatonta verkkokorttia sen mukaan, minkälaista testiverkon kokoonpanoa oltiin testaamassa.

Langattoman verkon taajuusalueen seuraamista varten käytettävissä olivat TTI PSA2701T 2.7GHz RF Spectrum Analyzer ja Wi-spy 2.4x USB-väyläinen antenni, jota käytetään yhdessä Chanalyzer 3.2 -PC-ohjelman (Personal Computer) kanssa. Varsinaiseen käyttöön päätyi ainoastaan Wi-spy 2.4x ja Chanalyzer-PC-ohjelma, koska se oli huomattavasti nopeampi ja käytännöllisempi sekä mittaustulosten käsittely osoittautui selvästi helpommaksi sillä kuin TTI PSA2701T -spektrianalysaattorilla.

5.3.2 Laitesijoittelu

Mittaukset suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa Leppävaarassa luokassa ETYA0150. Tilassa on paljon tietokoneita sekä tietoliikennelaitteita CCNA-kurssien opetusta varten. Tilan mitat ovat 11,6 m (pituus), 7,2 m (leveys) ja 3,2 m (korkeus) eli tilan kokonaistilavuus on 267 kuutiometriä.

Kuvassa 7 on esitelty laitteiden sijoittelu tilassa ja välimatkat laitteiden välillä.



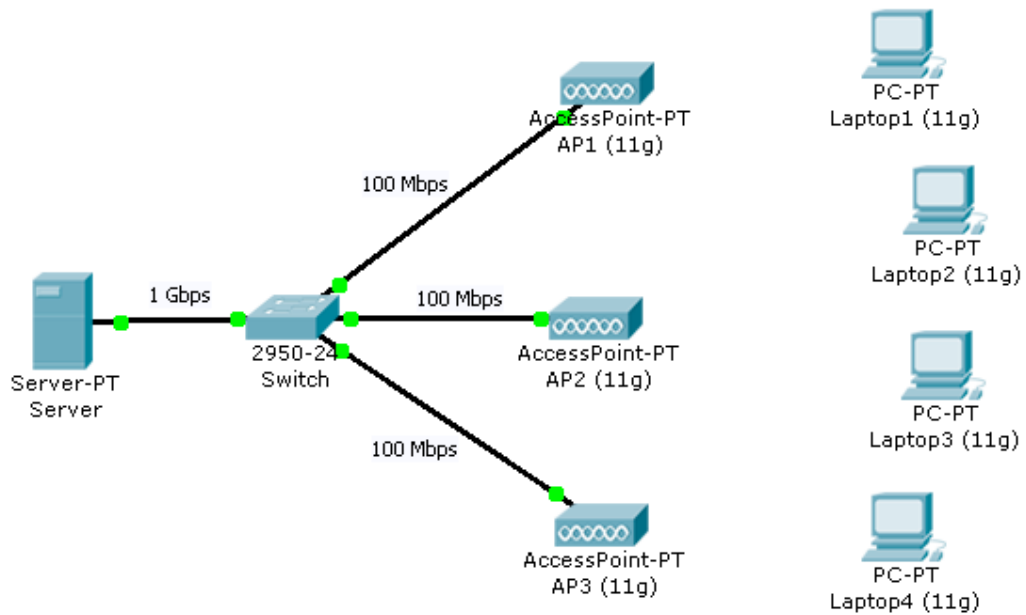
Kuva 7. Laitesijoittelu tilassa

Laitteiden sijoitteluun vaikutti suurimmalta osin käytössä olevien Ethernet-kaapelien pituudet sekä huoneessa kiinteästi sijoitettujen pöytien paikat. Tukiasemat sijoiteltiin mahdollisimman kauaksi toisistaan. Päätelaitteet ja tukiasemat sijoiteltiin huoneen keskiosaan, jotta seinistä tapahtuvat heijastukset vaikuttaisivat mahdollisimman vähän tuloksiin.

5.3.3 Alkuperäinen langaton verkko

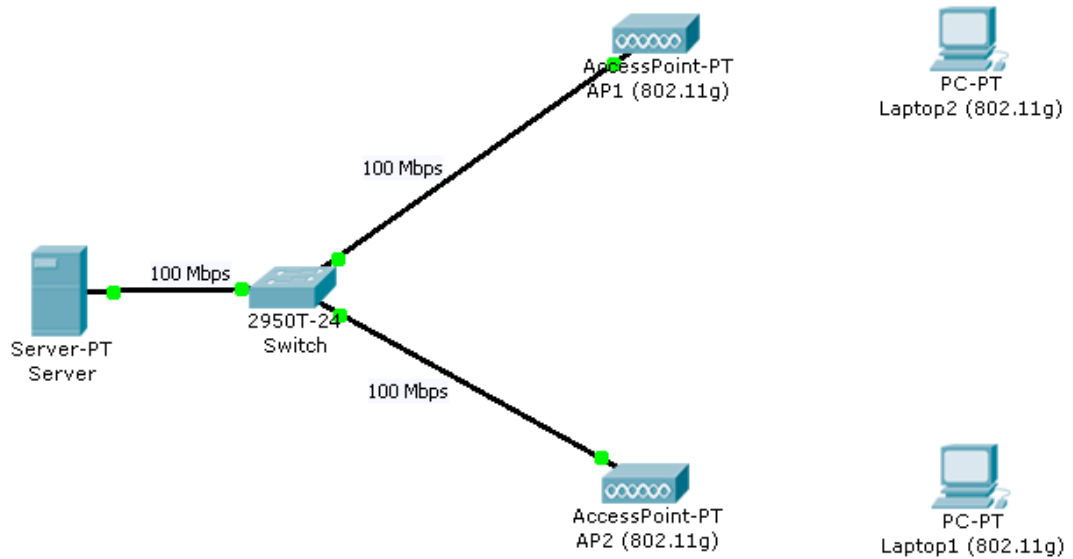
IEEE 802.11n -verkkokorteista saatiin toimimaan kovan työn tuloksena ainoastaan Linksys WPC300N. Linksys WUSB300N -verkkokortti ei löytänyt langattomia verkkoja lainkaan, vaikka käytössä olivat uusin ajuri ja ohjelmisto valmistajan sivuilta.

IEEE 802.11n -pöätelaitteiden rajoittuminen vain yhteen muutti aikaisemmin suunnitellut testiverkon kokoonpanot. Alun perin suunnitellussa verkossa oli kolme tukiasemaa ja neljä pöätelaitetta kuten kuvassa 8 on esitetty. Mittaukset olisi suoritettu verkon eri päivitysvaiheissa, joissa IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11n -tukiasemien ja -pöätelaitteiden määrät olisivat vaihdelleet.



Kuva 8. Alkuperäinen suunniteltu testiverkon toteutus

Koska toimivia IEEE 802.11n -pöätelaitteisiin sopivia verkkokortteja ei ollut kuin yksi, ei ollut järkevää rakentaa ensin kolmesta tukiasemasta ja neljästä pöätelaitteesta koostuvaa testiverkkoa, jota oltaisiin vaiheittain päivitytetty uusilla IEEE 802.11n -tukiasemilla ja suoritettu mittauksia jokaisessa päivitysvaiheessa. Sen sijaan testiverkko rakennettiin kahdesta tukiasemasta ja kahdesta pöätelaitteesta kuten kuvassa 9. Mittauksissa pääpaino keskittyi kanavavalintaan ja kahden tukiaseman rinnakkaistoiminnan testaamiseen.



Kuva 9. Uudelleen suunniteltu verkon toteutus

Ensin rakennettiin testiverkko, jossa oli vain yksi tukiasema ja yksi päätelaite, koska haluttiin määrittää maksimitiedonsiirtonopeus, joka saavutettaisiin ilman häiritsevää verkkoa sen rinnalla. Testattiin myös käytettävän kanavan merkitys kyseisessä tilassa mittaamalla tiedonsiirtonopeutta kolmella eri kanavalla.

Tiedonsiirtonopeutta mitattiin myös, kun yhteen tukiasemaan oli liittynyt kaksi päätelaitetta. Valitettavasti tuloksia ei pysty vertaamaan tilanteeseen, jossa kaksi IEEE 802.11n -pätelaitetta olisi yhteydessä samaan tukiasemaan, koska toimivia IEEE 802.11n -verkkokortteja ei ollut kuin yksi. Tuloksia pystyi kuitenkin vertaamaan myöhemmässä vaiheessa toteutettuun verkkoratkaisuun, jossa yksi IEEE 802.11g- ja yksi IEEE 802.11n -pätelaite on liittynyt saman tukiaseman tarjoamaan langattomaan verkkoon.

Tämän jälkeen verkko laajennettiin käsittämään kaksi tukiasemaa ja kaksi päätelaitetta kuten kuvassa 9.

Langaton verkko koostui siis palvelimesta, kytkimestä, kahdesta tukiasemasta ja kahdesta kannettavasta tietokoneesta, joissa olivat IEEE 802.11g -standardin langattomat verkkokortit. Verkossa ei ollut yhtään työasemaa, joka olisi liittynyt

verkkoon langallisen median kautta. Työn tarkoitus oli ainoastaan verrata langattoman verkon erilaisia päivitysmalleja keskenään. Joten langallinen puoli verkosta oli rakennettu mahdollisimman pieneksi. Se koostui vain palvelimesta, jolta siirrettiin dataa kannettaville tietokoneille eli kuormitettiin verkkoa tarvittavia mittauksia varten, sekä kytkimestä, jolla tukiasemat voitiin liittää runkoverkkoon.

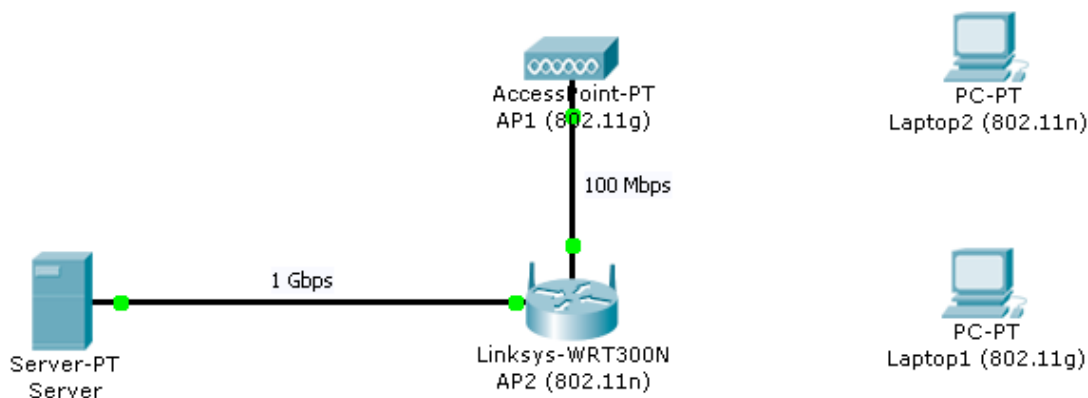
Verkon kanavointi toteutettiin kolmella eri tavalla. Käytetyt kanavaparit olivat 9 + 13, 8 + 13 ja 4 + 13. Jokaisessa vaiheessa kumpaankin tukiasemaan oli yhteydessä vain yksi päätelaite.

Tiedonsiirto päätelaitteiden ja tukiasemien välillä oli salattu WEP-salauksella (Wired Equivalent Privacy).

5.3.4 Osittain päivitetty langaton verkko

Seuraavassa vaiheessa langattomaan verkkoon liitettiin IEEE 802.11n -tukiasema ja -pätelaite. Neljästä mahdollista tukiasemasta valittiin Linksys WRT350N, koska sillä saavutettiin nopein tiedonsiirtonopeus ja ainoastaan siinä oli 1 Gbps:n kytkin.

Yksi tukiasemista (AP2) ja päätelaitteista (Laptop2) korvattiin uusilla IEEE 802.11n -laitteilla (kuva 10). Samalla käyttöön otettiin Linksys WRT350N -tukiaseman 1 Gbps:n kytkin. Näin varmistettiin, ettei IEEE 802.11n -verkon maksimitiedonsiirtonopeutta ainakaan rajoittaisi runkoverkon tiedonsiirtonopeus.



Kuva 10. IEEE 802.11g ja IEEE 802.11n -verkot rinnakkain

IEEE 802.11n -laitteille luotiin uusi verkko, ja vanha langaton verkko jäi toimimaan sen rinnalla. Vanhassa verkossa käytettiin samoja asetuksia kuin aikaisemminkin. Uudessa langattomassa verkossa kokeiltiin useita eri asetusvaihtoehtoja ja testattiin tiedonsiirtonopeutta sekä signaalikohinasuhdetta jokaisessa niissä.

Tiedonsiirto päätelaitteiden ja tukiasemien välillä IEEE 802.11n -verkossa oli salattu WPA2-salauksella (Wi-Fi Protected Access). WPA2-salausalgoritmia käytettiin, koska se oli tietoturvan kannalta parempi kuin WEP, ja se oli ainut salausmenetelmä, jolla yhteys IEEE 802.11n -pätelaitteen ja -tukiaseman välille saatiin muodostettua.

Ensimmäiseksi IEEE 802.11n -verkossa käytettiin asetuksia, jotka tarjosivat mahdollisimman nopean tiedonsiirron. Verkon käytössä tällöin oli kaksi kanavaa 2,4 GHz:n taajuusalueella. Kanava 6 oli pääkanava (standard channel) ja kanava 4 laajakanaava (wide channel). Valitettavasti IEEE 802.11n -tukiasemaa ei saatu toimimaan muilla kanavilla kuin 4 ja 6, joten verkkojen rinnakkaistoimintaa testattiin siirtämällä IEEE 802.11g -verkon kanavaa pitäen IEEE 802.11n -verkko jokaisessa testitilanteessa kanavilla 6 ja 4. Linksys WRT350N -tukiaseman asetuksissa ei ollut myöskään mahdollista siirtää tukiasemaa toimimaan 5 GHz:n taajuusalueelle, vaikka IEEE 802.11n -standardiehdotuksessa oli maininta mahdollisuudesta käyttää molempia taajuusalueita.

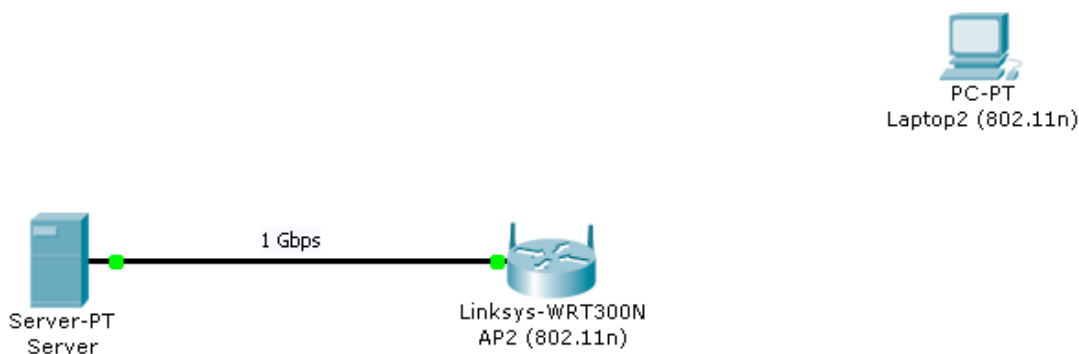
Verkkojen rinnakkaistoimintaa testattiin, kun IEEE 802.11n -verkko käytti kanavia 6 sekä 4 ja IEEE 802.11g -verkossa kanava muuttui. Mittaukset suoritettiin viidellä eri kanavavalinnalla. IEEE 802.11g -verkon kanavat ovat 13, 12, 11, 10 ja 9.

Seuraavaksi IEEE 802.11n -tukiasema muutettiin käyttämään vain yhtä 20 MHz:n kanavaa. Käytössä oli tuolloin kanava 6. Mittaukset suoritettiin muuttamalla taas IEEE 802.11g -verkon kanavaa. Verkon kanavat olivat tällöin 13, 12, 10, 2 ja 1.

5.3.5 Täysin päivitetty verkko

Täysin päivitetyllä verkolla tarkoitetaan tilannetta, jossa verkon kaikki tukiasemat on vaihdettu uusiin IEEE 802.11n -standardiehdotuksen laitteisiin. Vanha käytössä ollut IEEE 802.11g -verkko ei ole enää käytössä ja kaikki tukiasemat ja päätelaitteet on poistettu käytöstä.

Mittauksissa käytettiin yhtä IEEE 802.11n -tukiasemaa ja yhtä IEEE 802.11n -pätelaitetta (kuva 11). Mittaukset suoritettiin käyttäen molempia kanavointivaihtoehtoja: 40 MHz:n ja 20 MHz:n taajuuskaistaa. 40 MHz:n taajuuskaistaa käytettäessä kanavina olivat kanavat 6 ja 4. 20 MHz:n taajuuskaistaa käytettäessä kanavana toimi kanava 6.



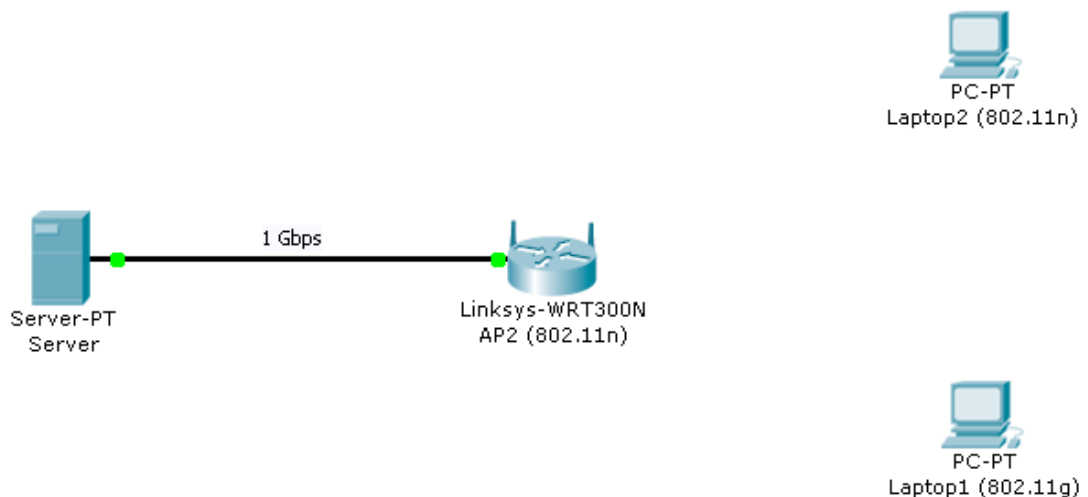
Kuva 11. Pelkkä IEEE 802.11n -verkko käytössä

5.3.6 Mixed-HT -tila

IEEE 802.11n -tukiasemissa on mahdollista käyttää Mixed-HT -tilaa, jonka avulla tukiasema voi olla yhteydessä sekä IEEE 802.11g että IEEE 802.11n -päätelaitteisiin.

Rakennettuun verkkoon liittyi yksi IEEE 802.11g -päätelaitte (kuva 12). Vaikka tukiaseman asetuksissa ei ollut mahdollisuutta erikseen kieltää IEEE 802.11g -laitteiden yhteydenmuodostaminen verkkoon, aikaisemmissa mittauksissa simuloitiin verkkoon pääsyn kieltäminen muodostamalla erilliset langattomat verkot IEEE 802.11n- ja IEEE 802.11g -laitteille. Käytännössä Linksys WRT350N -tukiasema toimii siis aina Mixed-HT -tilassa.

Tiedonsiirtonopeutta mitattiin käyttäen molempia taajuuskaistavaihtoehtoja. Ensimmäinen verkko käytti 40 MHz:n taajuuskaistaa ja sen jälkeen normaalia 20 MHz:n levyistä kaistaa.



Kuva 12. Mixed-HT -tila

6 Tulokset

Signaalinvoimakkuutta mitattiin Network Stumbler -PC-ohjelmalla. Koska IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11n -standardien verkkokortit olivat erimerkkisiä ja Network Stumbler -PC-ohjelma keräsi datan eri asteikolla, eivät mittaustulokset ole keskenään vertailukelpoisia. Niistä voi kuitenkin päätellä, kuinka erilaiset verkkoympäristöt vaikuttavat signaalinvoimakkuuteen mitattavassa päätelaitteessa.

Tiedonsiirtonopeutta mitattaessa olivat kaikki kannettavat tietokoneet yhteydessä palvelimeen, josta ne siirsivät dataa palvelimessa toimivan FTP-palvelun (File Transfer Protocol) avulla. Kannettavissa tietokoneissa oli FTP-client -sovellus, jolla dataa siirrettiin palvelimelta (Download) ja palvelimelle (Upload). Jotta langattomaan verkkoon saatiin liikennettä kaikista päätelaitteista mitattavalla hetkellä, siirrettiin kaikille päätelaitteille dataa samanaikaisesti.

Palvelimella sijaitseva jaettu data sisälsi kaksi suurta wmv-tiedostoa (Windows media video), joiden koot olivat 413 MB (Megabyte) ja 714 MB. Sen lisäksi palvelimella oli kansio, jossa oli paljon pieniä erikokoisia tiedostoja. Kansion koko oli 201 MB. Pienien tiedostojen siirtäminen FTP-tiedonsiirrolla oli huomattavasti hitaampaa kuin yhden suuren tiedoston siirtäminen. Koska haluttiin selvittää maksimitiedonsiirtonopeus ja päätellä sen perusteella verkon toimintaa, mittauksissa ei käytetty muuta kuin suuria wmv-tiedostoja tiedonsiirtonopeuden mittaamiseen.

Taajuusalueen toimintaa seurattiin Chanalyzer-PC-ohjelmaa käyttäen, joka oli asennettu palvelimena toimivaan kannettavaan tietokoneeseen, eli sen tehtävänä oli FTP-palvelimena toimimisen lisäksi tarkkailla taajuusaluetta Chanalyzer-PC-ohjelmalla ja tallentaa Wi-spy -antennin kautta tulevaa dataa.

6.1 Runkoverkko

Ensimmäinen vaihe insinööriyöhön liittyvissä mittauksissa oli mitata langallisen verkon tiedonsiirtonopeus. Mittauksilla pystytään määrittämään suurin mahdollinen tiedonsiirtonopeus, joka testiverkossa voidaan saavuttaa.

Tiedonsiirtonopeudet vaihtelevat huomattavasti sen mukaan, siirretäänkö palvelimen ja päätelaitteen välillä pieniä vai suuria tiedostoja. FTP-tiedonsiirrossa jokaiselle tiedostolta pyydetään kuittausta erikseen, joten tiedonsiirtonopeus on huomattavasti alhaisempi, kun siirretään suuri määrä pieniä tiedostoja verrattuna yhden suuren tiedoston siirtoon.

Taulukon 1 tuloksista voidaan päätellä, että maksimitiedonsiirtonopeus testiverkon langallisessa 100 Mbps:n runkoverkossa oli hieman yli 10 Mt/s (megatavua sekunnissa) molempiin suuntiin. 100 Mbps:n langallisen verkon teoreettinen maksimisiirtonopeus on 12,5 Mt/s. Kun käytössä on TCP/IP-protokolla (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) todellinen siirtonopeus on aina alhaisempi kuin teoreettinen maksimisiirtonopeus, koska databittien osuus kehyksessä ei ole 100 %. Testiverkossa saavutettua tiedonsiirtonopeutta voidaan siten pitää erittäin hyvänä.

Tiedonsiirron suunnalla ei ollut suurtakaan merkitystä mittaustuloksiin.

Taulukko 1. 100 Mbps:n runkoverkon tiedonsiirtonopeus

	Suuret tiedostot		Pienet tiedostot	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	10,6	10,3	3,35	3,30
2	10,2	10,3	3,09	3,09
3	10,4	10,4	3,09	3,14
Keskiarvo	10,4	10,3	3,18	3,18

Koska pieniä tiedostoja siirrettäessä tiedonsiirtonopeudet olivat huomattavasti alhaisemmat, käytettiin jatkossa vain suuria tiedostoja nopeuden selvittämiseen.

Seuraavaksi mitattiin 1 Gbps:n runkoverkon tiedonsiirtonopeus. IEEE 802.11n -standardin langattomassa verkossa käytettiin tukiaseman 1 Gbps:n kytkintä. 1 Gbps:n runkoverkon maksimitiedonsiirtonopeuden määrittäminen ei olisi ollut välttämätöntä työn kannalta, mutta haluttiin selvittää, mikä olisi mahdollinen maksimitiedonsiirtonopeus käytettäessä Linksys WRT350N -tukiaseman kytkintä.

1 Gbps:n langallisen verkon teoreettinen maksimitiedonsiirtonopeus on 125 Mt/s. Kun siirtonopeus on näin suuri, todellisuudessa saavutettuun siirtonopeuteen vaikuttavat monet muutkin tekijät kuin pelkkä verkon nopeus. Saavutettuun nopeuteen vaikuttavat ainakin piirisarjat, kovalevyn kirjoitus- ja lukunopeus ja käytössä olevat protokollat [21.].

Taulukon 2 tuloksia verrattaessa taulukon 1 tuloksiin voidaan todeta, että testiverkon 1 Gbps:n langallinen verkko oli yli puolet nopeampi kuin 100 Mbps:n verkko, kun siirrettiin suuria tiedostoja verkossa. Tiedonsiirtonopeus oli hieman nopeampi toiseen suuntaan dataa siirrettäessä. Teoreettinen maksiminopeus on moninkertaisesti suurempi kuin mittauksissa saavutettu tiedonsiirtonopeus. Suurin rajoittava tekijä nopeuteen oli luultavasti kannettavien tietokoneiden kovalevyjen kirjoitus- ja lukunopeudet. Tiedonsiirron suunnalla ei teoriassa myöskään pitäisi olla vaikutusta nopeuteen. Ero johtunee kaapeleiden, liittimien ja laitteistojen epätäydellisyydestä. Jos ne eivät ole ideaaliset, tiedonsiirtonopeus voi olla parempi toiseen suuntaan.

Taulukko 2. 1 Gbps:n runkoverkon maksimi tiedonsiirtonopeudet

	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	22,94	20,40
2	24,29	21,00
3	24,62	20,41
Keskiarvo	23,95	20,60

6.2 IEEE 802.11g -verkko

6.2.1 Yksi tukiasema ja yksi päätelaite

Ensimmäiseksi rakennettiin IEEE 802.11g -verkko, jossa oli vain yksi tukiasema ja yksi päätelaite, koska haluttiin määrittää maksimitiedonsiirtonopeus, joka saavutettaisiin tilassa ilman häiritsevää verkkoa sen rinnalla. Tiedonsiirtonopeutta mitattiin kolmella eri kanavalla. Taulukossa 3 on tukiaseman asetukset ja taulukoissa 4, 5 ja 6 ovat tulokset tiedonsiirtonopeudesta kanavilla 13, 4 ja 1.

Taulukko 3. Tukiaseman asetukset

AP1	
Data Rates	Default
Transmitter Power	Max
Limit Client Power	Max
Receive Antenna	Diversity
Transmit Antenna	Diversity
Beacon Interval	100
DTIM Interval	1
Fragmentation Threshold	2346
RTS Threshold	2347

Taulukko 4. IEEE 802.11g -verkko kanavalla 13

	Laptop1	
	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,5	1,9
2	1,7	2,0
3	1,6	2,0
Keskiarvo	1,6	2,0
Uudelleenlähetys	13,18 %	
Kanava	13	
Network stumbler	33 RSSI	
Chanalyzer	-27 dBm	

Taulukko 5. IEEE 802.11g -verkko kanavalla 4

	Laptop1	
	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,5	1,8
2	1,7	1,9
3	1,6	1,9
Keskiarvo	1,6	1,9
Uudelleenlähetys	13,80 %	
Kanava	4	
Network stumbler	28 RSSI	
Chanalyzer	-27 dBm	

Taulukko 6. IEEE 802.11g -verkko kanavalla 1

	Laptop1	
	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,5	1,9
2	1,6	1,9
3	1,6	1,9
Keskiarvo	1,6	1,9
Uudelleenlähetys	12,71 %	
Kanava	1	
Network stumbler	28 RSSI	
Chanalyzer	-28 dBm	

Mittaustuloksissa ei ollut suuria vaihteluita. Kuitenkin jokaisella mitatulla kanavalla oli havaittavissa, että tiedonsiirtonopeus oli nopeampi siirrettäessä dataa päätelaitteelta palvelimelle (upload). Mittausten perusteella IEEE 802.11g -verkossa kyseisessä tilassa voidaan saavuttaa maksimissaan tiedonsiirtonopeus 2,0 Mt/s upload-suunnassa ja 1,6 Mt/s download-suunnassa.

Saavutetut tiedonsiirtonopeudet vastaavat tyypillisesti käytännössä saavutettuja arvoja [17.]. Tyypillinen tiedonsiirtonopeus IEEE 802.11g -verkossa on 19 Mbps. Kun huomioon otetaan TCP/IP-kehyyksen aiheuttama hävikki, on testiverkossa saavutetut tulokset samansuuntaisia verrattuna yleisesti saavutettuihin arvoihin.

Erot tiedonsiirtonopeuksissa upload- ja download-suuntien välillä ovat laitevalmistajakohtaisia. Nopeuserot suuntien välillä muodostuvat valmistajan tekemien

ajureiden, laiteohjelman (firmware) ja korttien toteutuksesta. Joidenkin valmistajien korteissa tiedonsiirtonopeus on parempi download-suunnassa ja toisten valmistajien korteissa tilanne on päinvastainen [22.]. Myös siirrettävän datan koko vaikuttaa tiedonsiirtonopeuteen. Suuria tiedostoja siirrettäessä tiedonsiirtonopeus voi olla parempi upload-suunnassa kuin download-suunnassa [23.].

6.2.2 Yksi tukiasema ja kaksi päätelaitetta

Rakennettuun IEEE 802.11g -verkkoon lisättiin yksi päätelaite. Eli kaksi päätelaitetta jakoi tukiaseman tarjoaman langattoman verkon kapasiteetin. Taulukossa 7 on mittauksissa saadut tulokset kummankin päätelaitteen (Laptop1 ja Laptop2) osalta. Verkko käytti kanavaa 5.

Taulukko 7. Kaksi päätelaitetta jakaa yhden tukiaseman tarjoaman verkon

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,5	1,3	0,75	1,1
2	1,4	1,3	0,9	1,1
3	1,4	1,3	0,8	1,1
Keskiarvo	1,4	1,3	0,8	1,1
Uudelleenlähetys	15,74 %		18,33 %	
Kanava	5		5	
Network stumbler	40 RSSI		46 RSSI	
Chanalyzer	-27 dBm		-27 dBm	

Yhteenlaskettu tiedonsiirtonopeus on suurempi kuin käytettäessä vain yhtä päätelaitetta tukiasemaa kohden. Upload-suunnassa kahden päätelaitteen saavuttama tiedonsiirtonopeus on yhteensä 2,4 Mt/s ja download-suunnassa 2,2 Mt/s.

Uudelleenlähetysten määrä kasvaa hieman, kun tukiasemaan on liittynyt useampi päätelaite, mutta ei merkittävästi.

Tiedonsiirtonopeudet eroavat päätelaitteiden välillä. Vaikka päätelaitteet sijaitsivat tilassa melko lähellä toisiaan, ympäristötekijät vaikuttivat saavutettuihin

tiedonsiirtonopeuksiin. Tilassa oli paljon tietokoneita, monitoreja ja muita esteitä. Kummallakaan päätelaitteella ei ollut esteetöntä yhteyttä tukiasemaan, ja todennäköisesti Laptop2:n tiedonsiirtoon vaikuttivat häiriötekijät enemmän kuin Laptop1:n tiedonsiirtoon. Sen lisäksi langattomissa verkkokorteissa voi myös olla yksilöllisiä eroja.

6.2.3 Kaksi tukiasemaa ja kaksi päätelaitetta

IEEE 802.11g -laitteille rakennettiin verkko, jossa oli kaksi tukiasemaa ja kaksi päätelaitetta. Kumpaankin tukiasemaan oli liittynyt yksi päätelaite. Mittauksia suoritettiin käyttäen eri kanavayhdistelmiä: 9 + 13, 8 + 13 ja 4 + 13. Syy, miksi käytettiin erilaisia kanavapariyhdistelmiä, oli selvittää, kuinka paljon se vaikuttaa tiedonsiirtonopeuteen ja uudelleenlähetysten määrään. Teorian pohjalta kanavien väli täytyy olla vähintään kuusi kanavanväliä, jotta sillä ei ole vaikutusta verkkojen toimintaan. Taulukoissa 8, 9 ja 10 ovat tulokset mittauksista.

Taulukko 8. Verkossa käytössä kanavat 9 ja 13

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,2	1,3	1,1	1,1
2	1,1	1,1	1,3	1,0
3	1,1	1,2	1,1	1,3
Keskiarvo	1,1	1,2	1,2	1,1
Uudelleenlähetys	17,83 %		27,74 %	
Kanava	13		9	
Network stumbler	35 RSSI		26 RSSI	
Chanalyzer	-26 dBm		-42 dBm	

Taulukko 9. Verkossa käytössä kanavat 8 ja 13

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,5	1,9	1,1	1,0
2	1,6	1,8	1,0	1,0
3	1,7	1,9	1,0	1,0
Keskiarvo	1,6	1,9	1,0	1,0
Uudelleenlähetys	12,77 %		24,69 %	
Kanava	13		8	
Network stumbler	32 RSSI		19 RSSI	
Chanalyzer	-30 dBm		-45 dBm	

Taulukko 10. Verkossa käytössä kanavat 4 ja 13

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,6	2,0	1,9	2,1
2	1,6	1,9	1,9	2,0
3	1,6	2,0	1,8	2,0
Keskiarvo	1,6	2,0	1,9	2,0
Uudelleenlähetys	12,10 %		11,36 %	
Kanava	13		4	
Network stumbler	33 RSSI		48 RSSI	
Chanalyzer	-28 dBm		-48 dBm	

Tuloksista pystyy helposti päättämään, että kanavien valinta voi vaikuttaa tiedonsiirtonopeuteen ja uudelleenlähetysten määrään todella merkittävästi. Minimietäisyydellä olevan kanavaparin (9 ja 13) molempien päätelaitteiden maksimitiedonsiirtonopeus on selvästi alhaisempi kuin mittauksissa yhden tukiaseman ja yhden päätelaitteen välillä (taulukoissa 3, 4 ja 5).

Kun kanavien väliä suurennetaan, tiedonsiirtonopeus paranee. Taulukon 9 Laptop1-päätelaitteen nopeudet nousivat samalle tasolle kuin verkossa olisi vain yksi tukiasema ja yksi päätelaite, kun kanavien väliä suurennettiin yhdellä neljästä viiteen. Laptop2-päätelaitteen tulokset ovat hieman ristiriitaiset tilanteessa, koska ne huononivat kun kanavien välimatka kasvoi. Tilassa oli voimakasta taustakohinaa kanavien 8 ja 9 tietämillä, joka saattoi vääristää mittaustuloksia. Liitteessä 1 on Chanalyzer-PC-

ohjelmalla otettu kuva tilan taustakohinasta ennen langattoman verkon rakentamista mittauksia varten.

Taulukossa 10 esitettyjen tulosten perusteella tukiasemien toimintaan ei vaikuta viereinen tukiasema lainkaan, kun käytettävien kanavien väli on tarpeeksi suuri.

6.3 IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11n -verkot rinnakkain

6.3.1 IEEE 802.11n -verkko 40 MHz:n taajuuskaistalla

IEEE 802.11g -verkon AP2-tukiasema vaihdettiin IEEE 802.11n -standardin tukiasemaan ja käyttöön otettiin nopeimmat mahdolliset asetukset. IEEE 802.11n -laitteille luotiin uusi langaton verkko vanhan IEEE 802.11g -verkon rinnalle. IEEE 802.11n -verkko käytti 40 MHz:n taajuuskaistaa eli sen käytössä oli kaksi kanavaa: 6 ja 4. IEEE 802.11g -verkossa kanavaa muuteltiin ja jokaisessa vaiheessa suoritettiin mittaukset.

Taulukossa 11 on IEEE 802.11n -tukiaseman asetukset ja taulukoissa 12–16 on esitetty tulokset mittauksista.

Taulukko 11. IEEE 802.11n -verkon tukiaseman asetukset

AP2	
AP Isolation	Disabled
Authentication Type	Auto
Basic Rate	Default
Transmission Rate	54 Mbps
N Transmission Rate	270 Mbps
CTS Protection Mode	Disabled
Beacon Interval	100
DTIM Interval	1
Fragmentation Threshold	2346
RTS Threshold	2346

Taulukko 12. IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 13

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,7	1,9	7,4	10,1
2	1,7	1,9	7,5	9,4
3	1,6	2,0	7,5	10,1
Keskiarvo	1,7	1,9	7,5	9,9
Kanava	13		6 & 4	
Network stumbler	35 RSSI		-40 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-30 dBm		-45 dBm	

Taulukko 13. IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 12

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,5	1,5	6,7	8,8
2	1,4	1,6	7,1	9,8
3	1,5	1,5	6,6	9,2
Keskiarvo	1,5	1,5	6,8	9,3
Kanava	12		6 & 4	
Network stumbler	33 RSSI		-38 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-33 dBm		-45 dBm	

Taulukko 14. IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 11

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	0,033	0,120	6,6	9,0
2	0,035	0,115	6,9	9,4
3	0,033	0,110	6,5	8,9
Keskiarvo	0,034	0,115	6,7	9,1
Kanava	11		6 & 4	
Network stumbler	18 RSSI		-37 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-55 dBm		-45 dBm	

Taulukko 15. IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 10

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	0,020	0,030	6,7	7,8
2	0,015	0,050	6,2	8,4
3	0,005	0,060	6,2	8,1
Keskiarvo	0,013	0,047	6,4	8,1
Kanava	10		6 & 4	
Network stumbler	5 RSSI		-38 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-55 dBm		-43 dBm	

Taulukko 16. IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 9

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	0,003	0,010	6,8	7,0
2	0,002	0,020	6,4	7,8
3	0,005	0,015	5,1	7,2
Keskiarvo	0,003	0,015	6,1	7,3
Kanava	9		6 & 4	
Network stumbler	12 RSSI		-40 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-60 dBm		-43 dBm	

IEEE 802.11n -standardin langaton verkko on huomattavasti nopeampi kuin IEEE 802.11g -verkko. Kun käytössä on 40 MHz:n kanava tai kahden 20 MHz:n kanavan kanavapari, voidaan saavuttaa lähes 100 Mbps:n runkoverkon nopeus. Tiedonsiirto testiverkossa palvelimelta päätelaitteelle on 7,5 Mt/s ja toiseen suuntaan noin 10 Mt/s.

IEEE 802.11n -standardin verkkokorttien ja tukiasemien testeissä on saavutettu hyvin erilaisia tuloksia tiedonsiirtonopeuksissa. Eri laitevalmistajien laitteiden väliset erot ovat huomattavia [22.]. Saavutetut tiedonsiirtonopeudet testiverkossa ovat kuitenkin samansuuntaisia kuin muissa vastaavissa testeissä saadut tulokset.

IEEE 802.11n -tukiasema häiritsee huomattavasti enemmän viereistä IEEE 802.11g -verkkoa kuin rinnakkainen IEEE 802.11g -tukiasema. Kun käytettävien kanavien väli on vähemmän kuin kuusi, IEEE 802.11n -verkon rinnakkaistoiminta häiritsee erittäin paljon IEEE 802.11g -verkon toimintaa. Taulukoissa 14, 15 ja 16 Laptop1-päätelaitteen

tiedonsiirtonopeus on vähentynyt erittäin alhaiseksi. Taulukoiden tuloksista ei ole suoraan nähtävissä mittaustilanteessa tapahtuvia toistuvia yhteyden katkeamisia. Mittauksissa päätelaite menetti yhteyden tukiasemaan useasti, kun IEEE 802.11n -verkossa oli liikennettä.

IEEE 802.11g -verkon toiminnan häiriintymisen ja yhteyden pätkimisen pystyy havaitsemaan Chanalyzer-PC-ohjelman datasta liitteissä 2–4 ja varsinkin Network Stumbler -PC-ohjelmalla tallentamasta datasta liitteissä 5–7. Kun dataa siirrettiin IEEE 802.11n -verkossa, IEEE 802.11g -verkko toimi erittäin huonosti.

IEEE 802.11n -verkon toimintaan rinnalla toimiva IEEE 802.11g -verkko ei juurikaan vaikuta. Tiedonsiirtonopeus laskee vain hieman, kun kanavaväli IEEE 802.11g -verkkoon pienenee.

Chanalyzer-PC-ohjelmalla tallennetusta datasta liitteessä 8 voi havaita, että IEEE 802.11n -tukiasema käyttää erittäin suuren osan taajuusalueesta, kun käytössä on 40 MHz:n kanava. Vaikka tukiaseman asetuksissa oli valittuna kanava 6 pääkanavaksi (standard channel) ja kanava 4 laajakanavaksi (wide channel), todellisuudessa tukiasema käytti kanavia 6 ja 2. IEEE 802.11n -tukiaseman käyttämä taajuusalue peitti lähes puolet koko 2,4 GHz:n ISM-taajuusalueesta.

6.3.2 IEEE 802.11n -verkko 20 MHz:n taajuuskaistalla

Seuraavaksi IEEE 802.11n -verkon taajuuskaista pudotettiin 40 MHz:stä 20 MHz:iin. Verkon käytössä oli kanava 6. IEEE 802.11g -verkon kanavaa muuteltiin ja mitattiin verkkojen rinnakkaistoimintaa samalla tavalla kuin edellisessä mittaustilanteessa. IEEE 802.11g -verkossa käytettiin kanavia 13, 12, 10, 2 ja 1.

Taulukoissa 17–21 ovat saadut mittaustulokset.

Taulukko 17. IEEE 802.11n -verkko kanavalla 6, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 13

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,6	2,0	4,2	6,0
2	1,7	2,1	4,4	6,3
3	1,6	2,0	4,4	6,1
Keskiarvo	1,6	2,0	4,3	6,1
Kanava	13		6	
Network stumbler	33 RSSI		-40 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-33 dBm		-42 dBm	

Taulukko 18. IEEE 802.11n -verkko kanavalla 6, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 12

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,6	1,8	4,4	5,7
2	1,5	1,7	4,7	5,7
3	1,6	1,8	4,3	5,8
Keskiarvo	1,6	1,8	4,5	5,7
Kanava	12		6	
Network stumbler	33 RSSI		-41 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-28 dBm		-40 dBm	

Taulukko 19. IEEE 802.11n -verkko kanavalla 6, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 10

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	0,350	0,100	4,7	5,4
2	0,300	0,120	3,4	5,8
3	0,250	0,170	4,5	5,2
Keskiarvo	0,300	0,130	4,2	5,5
Kanava	10		6	
Network stumbler	15 RSSI		-41 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-37 dBm		-42 dBm	

Taulukko 20. IEEE 802.11n -verkko kanavalla 6, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 2

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	0,550	0,700	3,8	5,7
2	0,500	0,450	3,5	5,6
3	0,600	0,500	3,7	5,5
Keskiarvo	0,550	0,550	3,7	5,6
Kanava	2		6	
Network stumbler	30 RSSI		-40 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-40 dBm		-40 dBm	

Taulukko 21. IEEE 802.11n -verkko kanavalla 6, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 1

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,4	1,9	4,7	6,0
2	1,4	2,0	4,4	6,4
3	1,6	2,0	4,5	6,1
Keskiarvo	1,5	2,0	4,5	6,2
Kanava	1		6	
Network stumbler	32 RSSI		-42 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-30 dBm		-42 dBm	

Tiedonsiirtonopeus putosi oletetusti kun IEEE 802.11n -verkon kaistanleveys pudotettiin 40 MHz:sta 20 MHz:iin. Verkossa pystyi siirtämään dataa nopeimmillaan 6,2 Mt/s päätelaitteelta tukiasemalle ja 4,5 Mt/s toiseen suuntaan.

Kun käytössä oli 20 MHz:n kaistanleveys, verkkojen rinnakkaistoiminta oli huomattavasti toimivampaa kuin käytettäessä 40 MHz:n kaistanleveyttä. Verkot toimivat erittäin hyvin, kun käytössä olevien verkkojen kanavaväli oli vähintään viisi kanavaa. Käytettäessä kanavia, joiden väli oli neljä kanavaa, IEEE 802.11g -verkon toiminta häiriintyi merkittävästi mutta IEEE 802.11n -verkko toimi lähes yhtä hyvin kuin suurempaa kanavaväliä käytettäessä.

6.4 IEEE 802.11n -verkko

6.4.1 Verkossa vain IEEE 802.11n -laitteita

Seuraavaksi testattiin langatonta verkkoa, jossa oli vain IEEE 802.11n -laitteita. Mittaukset suoritettiin käyttäen sekä 40 MHz:n että 20 MHz:n kaistanleveyttä. 40 MHz:n verkossa käytettiin kanavia 6 ja 4. 20 MHz:n verkossa käytettiin vain kanavaa 6, eli nämä mittaukset vastasivat edellisen vaiheen mittauksia ilman rinnalla toimivaa IEEE 802.11g -verkkoa.

Taulukoissa 22 ja 23 on mittauksista saadut tulokset.

Taulukko 22. IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4

	Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	7,2	10,1
2	7,3	10,3
3	7,2	9,6
Keskiarvo	7,2	10,0
Kanava	6 & 4	
Network stumbler	-42 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-42 dBm	

Taulukko 23. IEEE 802.11n -verkko kanavalla 6

	Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	4,5	6,5
2	4,3	6,7
3	4,7	6,4
Keskiarvo	4,5	6,5
Kanava	6	
Network stumbler	-40 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-42 dBm	

Tulokset ovat hyvin lähellä samoja kuin taulukoissa 12 ja 21, jolloin rinnalla toimi IEEE 802.11g -verkko.

Käytettäessä 40 MHz:n kaistanleveyttä saavutetaan noin 60 prosentin parannus tiedonsiirtonopeuteen. Verrattuna IEEE 802.11g -verkossa saatuihin tuloksiin (taulukot 4, 5 ja 6) on parannus langattoman verkon tiedonsiirtonopeuteen moninkertainen.

6.4.2 Mixed-HT -tila

Viimeisessä vaiheessa lisättiin yksi IEEE 802.11g -päätelaitte verkkoon, jolloin kaksi päätelaitetta jakoi yhden tukiaseman tarjoaman verkon. IEEE 802.11n -tukiasema toimi Mixed-HT -tilassa, eli siihen pystyi liittymään sekä IEEE 802.11n että IEEE 802.11g -päätelaitteita.

Taulukoissa 24 ja 25 on saadut mittaustulokset.

Taulukko 24. IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4 Mixed-HT -tilassa

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	1,0	1,3	2,5	4,1
2	1,1	1,1	2,6	4,3
3	1,2	1,3	2,3	4,2
Keskiarvo	1,1	1,2	2,5	4,2
Kanava	6		6 & 4	
Network stumbler	43 RSSI		-48 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-42 dBm		-42 dBm	

Taulukko 25. IEEE 802.11n -verkko kanavalla 6 Mixed-HT -tilassa

	Laptop1		Laptop2	
	DOWNLOAD	UPLOAD	DOWNLOAD	UPLOAD
Testi	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]	Nopeus [Mt/s]
1	0,85	0,75	2,1	3,6
2	0,90	0,85	2,2	3,9
3	1,0	1,0	1,9	3,7
Keskiarvo	0,92	0,87	2,1	3,7
Kanava	6		6	
Network stumbler	48 RSSI		-45 dBm	(Signal/Noise)
Chanalyzer	-42 dBm		-42 dBm	

Ei ole suurta merkitystä, käytetäänkö 40 MHz:n vai 20 MHz:n taajuuskaistaa tiedonsiirron kannalta, kun tukiasemaan on liittynyt IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11n -päätelaitteita ja molemmat siirtävät dataa yhtä aikaa. Ero tulee esiin vasta siinä vaiheessa, kun vain IEEE 802.11n -laitteet siirtävät dataa.

7 Johtopäätökset

Kun päivitetään langatonta verkkoa IEEE 802.11g -standardin laitekannasta nopeampaan IEEE 802.11n -standardin laitteisiin, on erittäin tärkeää tietää taajuusalueen käyttö. IEEE 802.11n -tukiasemat häiritsevät IEEE 802.11g -verkon toimintaa hidastaen sen tiedonsiirtonopeutta huomattavasti enemmän kuin rinnalla toimivat toiset IEEE 802.11g -tukiasemat. Kanavasunnittelu nouseekin entistä tärkeämpään rooliin uusia IEEE 802.11n -laitteita käytettäessä.

Parhaiten toimivan ja järkevimmän päivitysmallin valinta kyseiseen tilanteeseen riippuu päivitettävän langattoman verkon laajuudesta ja taajuusalueen käytöstä ympäristössä. Yksiselitteistä ratkaisua ei siis ole olemassa.

40 MHz:n taajuuskaistan käyttäminen IEEE 802.11n -verkossa antaa parhaimman mahdollisen tiedonsiirtonopeuden, mutta 2,4 GHz:n taajuusalueella käytettäessä se vie todella suuren osan koko käytettävissä olevasta taajuusalueesta. Useasta tukiasemasta rakennetussa langattomassa verkossa ei ole mahdollista käyttää kanavia niin, etteivät ne olisi päällekkäin. Ja sen vuoksi tukiasemien toiminta häiriintyy ja vaikuttaa verkon toimivuuteen.

Normaalin 20 MHz:n taajuuskaistan käyttäminen on varsinkin suurissa langattomissa verkoissa lähes välttämätöntä, koska kapea 2,4 GHz:n taajuusalue on silloin kokonaan käytössä. IEEE 802.11n -laitteiden verkko on kuitenkin huomattavasti nopeampi kuin IEEE 802.11g -verkko.

5 GHz:n taajuusalue on huomattavasti leveämpi kuin 2,4 GHz:n taajuusalue. On suositeltavaa käyttää 5 GHz:n taajuusalueella, jos tukiasemilla ja verkkokorteilla on tuki siihen. IEEE 802.11n -standardiehdotuksessa on maininta molempien taajuusalueiden käytön sallimisesta. Valitettavasti verkkoa, joka käyttää 5 GHz:n taajuusalueella, ei pystytty testaamaan. Käytettävissä olevissa Linksysin laitteissa ei ollut valittavissa muita kuin 2,4 GHz:n taajuusalueen kanavia.

Mixed-HT -tila on erinomainen vaihtoehto, varsinkin suurien langattomien verkkokokonaisuuksien kanssa. Tukiasemien asennuksiin ei tarvita niin paljon aikaa ja resursseja, kun IEEE 802.11g -tukiasemat korvataan kerralla uusilla IEEE 802.11n -tukiasemilla. Verkkosuunnitteluakaan ei tarvita uudelleen toteuttaa, jos vanha tukiasema korvataan uudella ja käyttöön otetaan sama 20 MHz:n kanava.

Mixed-HT -tilasta voidaan tarvittaessa siirtyä HT-tilaan, kun kaikki päätelaitteet ovat päivitetty IEEE 802.11n -laitteisiin. HT-tilassa saavutetaan maksimaalinen tiedonsiirtonopeus IEEE 802.11n -laitteilla. Testiverkoissa puhdasta HT-tilaa ei voitu testata, koska Linksys WRT350N -tukiaseman asetuksissa ei ollut mahdollisuutta valita sitä. Kuitenkin teorian pohjalta tiedonsiirtonopeus paransi HT-tilassa verrattuna Mixed-HT -tilaan, koska siinä ei käytetä hidastavaa IEEE 802.11g -standardin kehysrakennetta.

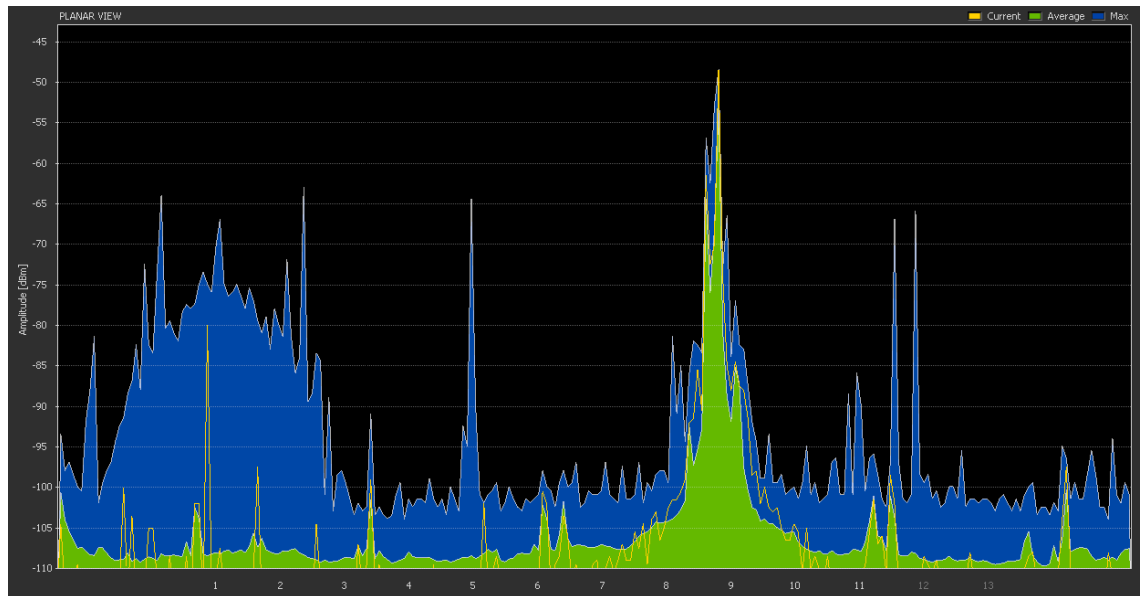
Mittaustilanteessa oli suuria ongelmia saada IEEE 802.11n -laitteita toimimaan, vaikka käytössä oli uusimmat ajurit ja ohjelmistot laitteille. Saman laitevalmistajan laitteetkaan eivät olleet kovin hyvin yhteensopivia. Standardin valmistuttua laitteiden toimivuus todennäköisesti paranee, kun kaikki valmistajat käyttävät standardin määrittämiä ja vaatimuksia. Tässä vaiheessa laitekannan päivittäminen IEEE 802.11n Draft 2 -standardiluonnoksen laitteisiin ei ole kovinkaan suositeltavaa.

Lähteet

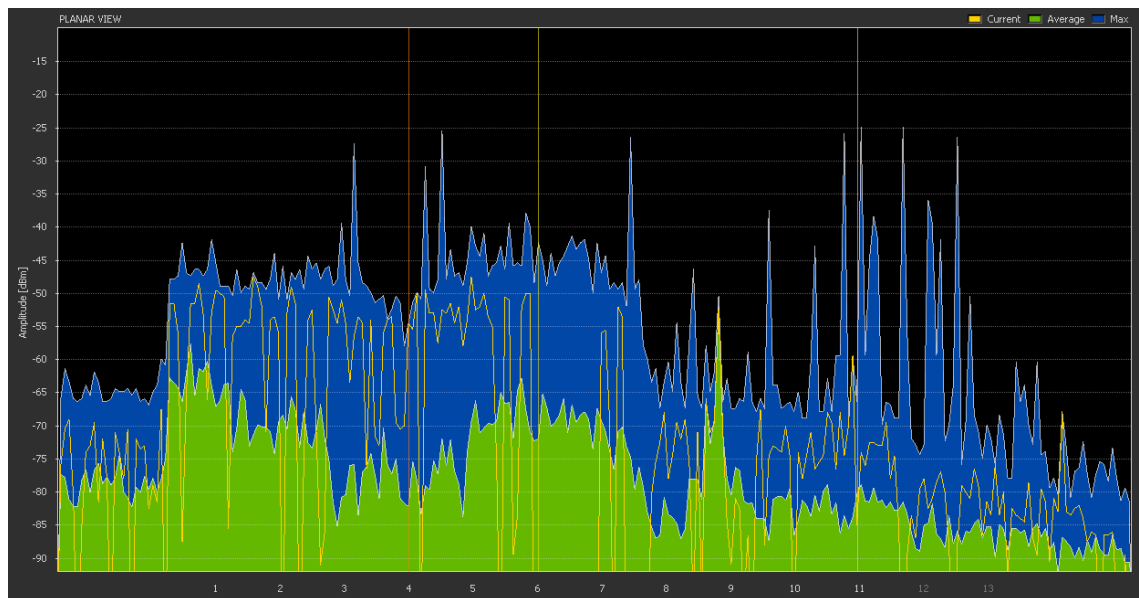
- 1 Granlund, Kaj. Langaton tiedonsiirto, 1. Painos. Docendo Finland Oy, 2001.
- 2 IEEE 802.11. 11.11.2008. (WWW-dokumentti.) Wikipedia Vapaa tietosanakirja. <http://fi.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11>. Luettu 16.12.2008.
- 3 Syrjälä, Marko. WLAN - langaton lähiverkko, essee verkkomedian perusteet. (WWW-dokumentti.) <<http://users.tkk.fi/mjsyrjal/wlan.html>>. 7.3.2001. Luettu 16.12.2008.
- 4 Haanperä, Ville. Sinisalo, Tiina. Langattomat lähiverkot, Seminaarityö. (WWW-dokumentti.) <<http://www.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5316800/seminarit/WLAN.pdf>>. 1.2.2006. Luettu 17.12.2008.
- 5 Building a 100Mbps wireless bridge. (WWW-dokumentti.) Wireless.gumph.org. <<http://wireless.gumph.org/content/5/10/011-building-100mbps-wireless-bridge.html>>. 2006. Luettu 22.12.2008.
- 6 Cisco Aironet Antennas and Accessories Reference Guide. (WWW-dokumentti.) Cisco. <http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps7183/ps469/product_data_sheet09186a008008883b.html>. 2008. Luettu 22.12.2008.
- 7 WLAN perustietoa. (WWW-dokumentti.) LAN-palvelut Oy. <<http://www.lan-palvelut.fi/wlan1.html>>. Luettu 9.1.2009.
- 8 Pöykkö, Samuli. Viinikka, Jouni. Vuorensola, Jaakko. WLAN - Eetterissä Internet. (WWW-dokumentti.) <http://keskus.hut.fi/opetus/s38118/s00/tyot/27/wlan_tekniikka.shtml>. 10.12.2000. Luettu 10.1.2009.
- 9 Haanperä, Ville. Sinisalo, Tiina. Langattomat lähiverkot. (WWW-dokumentti.) <www.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5316800/seminarit/Langattomat_l_hiverkot.ppt>. 23.5.2006. Luettu 10.1.2009.
- 10 Leira, Jardar. UNINETT: WLAN - IEEE 802.11. (WWW-dokumentti.) <<http://forskningnett.uninett.no/wlan/ieee80211.html>>. 15.4.2005. Luettu 11.1.2009.
- 11 What is frequency-hopping spread spectrum?. (WWW-dokumentti.) TechTarget Networking Media. <http://searchnetworking.techtarget.com/sDefinition/0,,sid7_gci525695,00.html>. 18.4.2007. Luettu 22.1.2009.
- 12 OFDM. (WWW-dokumentti.) Wikipedia Vapaa tietosanakirja. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/OFDM>>. 29.9.2008. Luettu 24.1.2009.

- 13 J.J. van de Beek, P. Ödling, S.K. Wilson, P.O. Börjesson. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM). (WWW-dokumentti.)
<<http://www.s3.kth.se/signal/grad/OFDM/URSIOFDM9808.htm>>. 2002. Luettu 24.1.2009.
- 14 Logical Link Control. (WWW-dokumentti.) Wikipedia The Free Encyclopedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Logical_Link_Control>. 20.1.2009. Luettu 24.1.2009.
- 15 CDMA/CA. (WWW-dokumentti.) Wikipedia Vapaa tietosanakirja.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/CDMA/CA>>. 1.9.2008. Luettu 28.1.2009.
- 16 Geier, Jim. Improving WLAN Performance with RTS/CTS. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/1445641>>. 12.8.2002. Luettu 1.4.2009.
- 17 IEEE 802.11g-2003. (WWW-dokumentti.) Wikipedia The Free Encyclopedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11g-2003>. 10.11.2009. Luettu 2.2.2009.
- 18 IEEE 802.11n. (WWW-dokumentti.) Wikipedia The Free Encyclopedia.
<<http://en.wikipedia.org/wiki/802.11n>>. 23.1.2008. Luettu 2.2.2009.
- 19 802.11n Primer. (WWW-dokumentti.) AirMagnet.
<<http://www.airmagnet.com/assets/whitepaper/WP-802.11nPrimer.pdf>>. 5.8.2008. Luettu 4.2.2009.
- 20 List of WLAN channels. (WWW-dokumentti.) Wikipedia The Free Encyclopedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_WLAN_channels>. 20.1.2009. Luettu 8.2.2009.
- 21 What's the REAL speed of 1 Gigabit network connection?. (WWW-dokumentti.) Ars Technica.
<<http://episteme.arstechnica.com/groupee/forums/a/tpc/f/469092836/m/498005575731>>. 11.10.2005. Luettu 3.4.2009.
- 22 WLAN Card Speed Tests - Notebook Forums and Laptop Discussion. (WWW-dokumentti.) NotebookReview.com.
<<http://forum.notebookreview.com/showthread.php?t=367103>>. 29.3.2009. Luettu 10.4.2009.
- 23 Scheblykin, Platon. Linksys WRT350N: Wireless-N Gigabit Router with Storage Link (page 9). (WWW-dokumentti.)
<http://www.xbitlabs.com/articles/networking/display/linksys-wrt350n_9.html>. 12.12.2008. Luettu 10.4.2009.

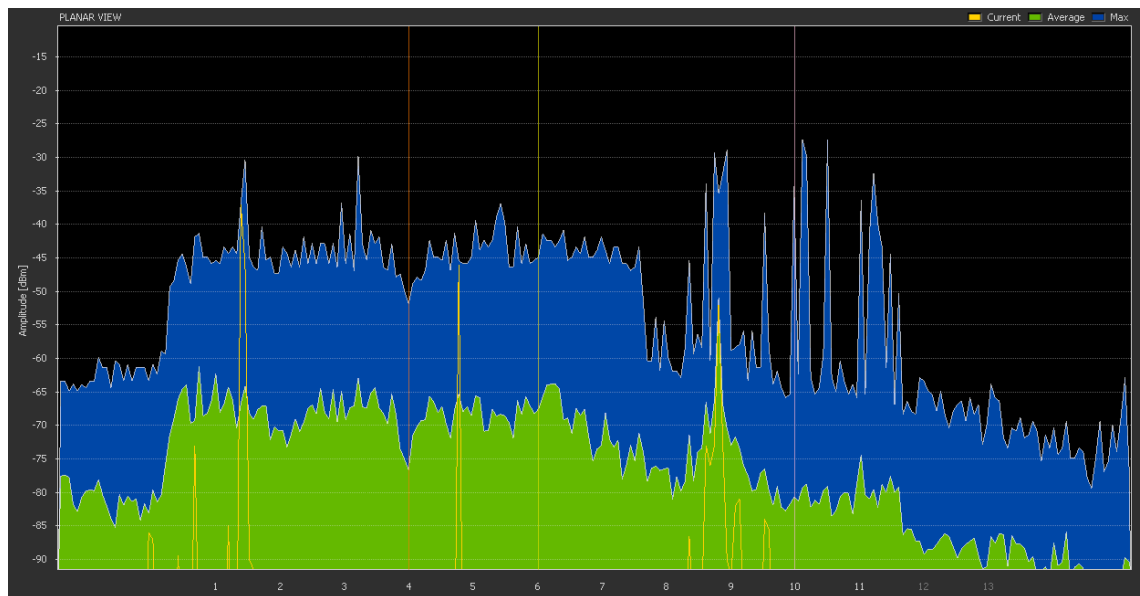
Liite 1: Tilan taustakohina ennen langattoman verkon rakentamista



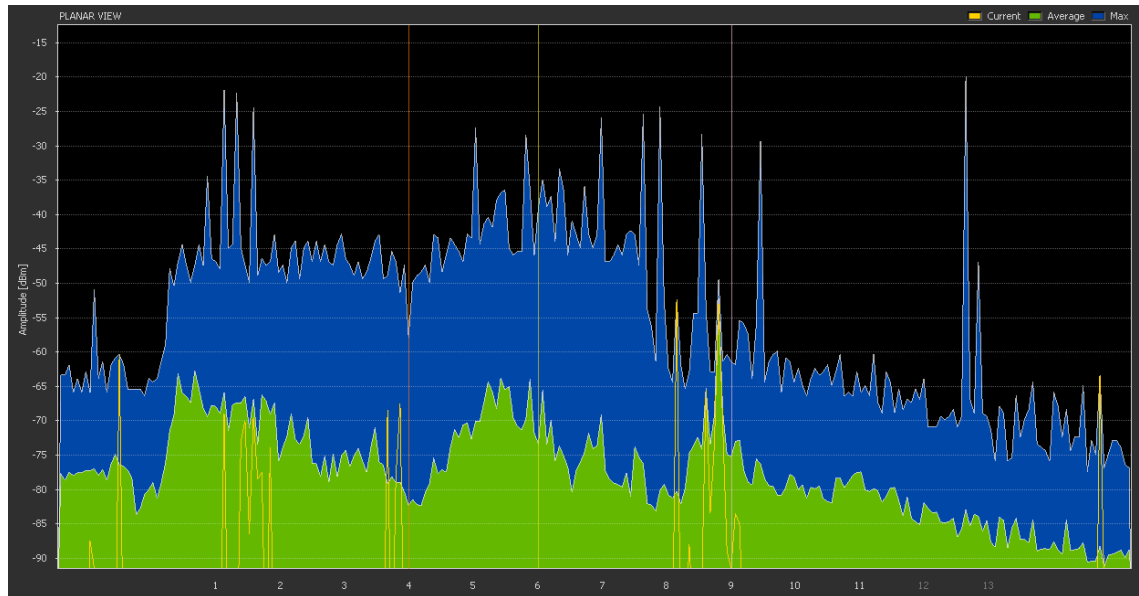
Liite 2: IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 11



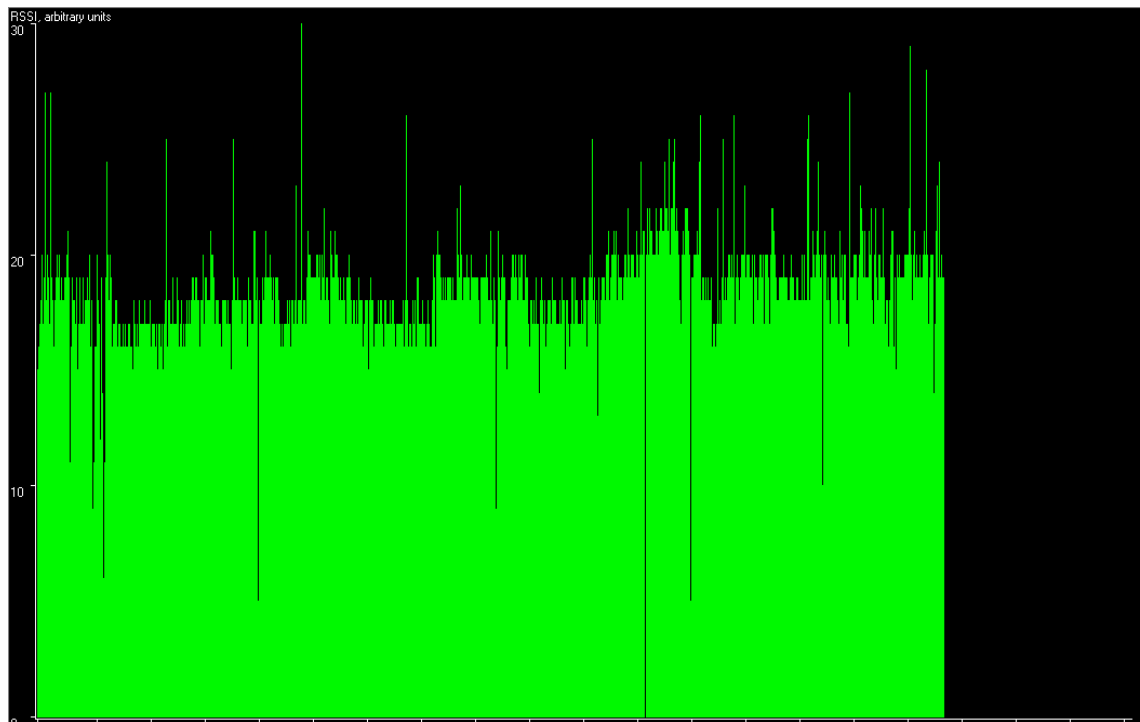
Liite 3: IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 10



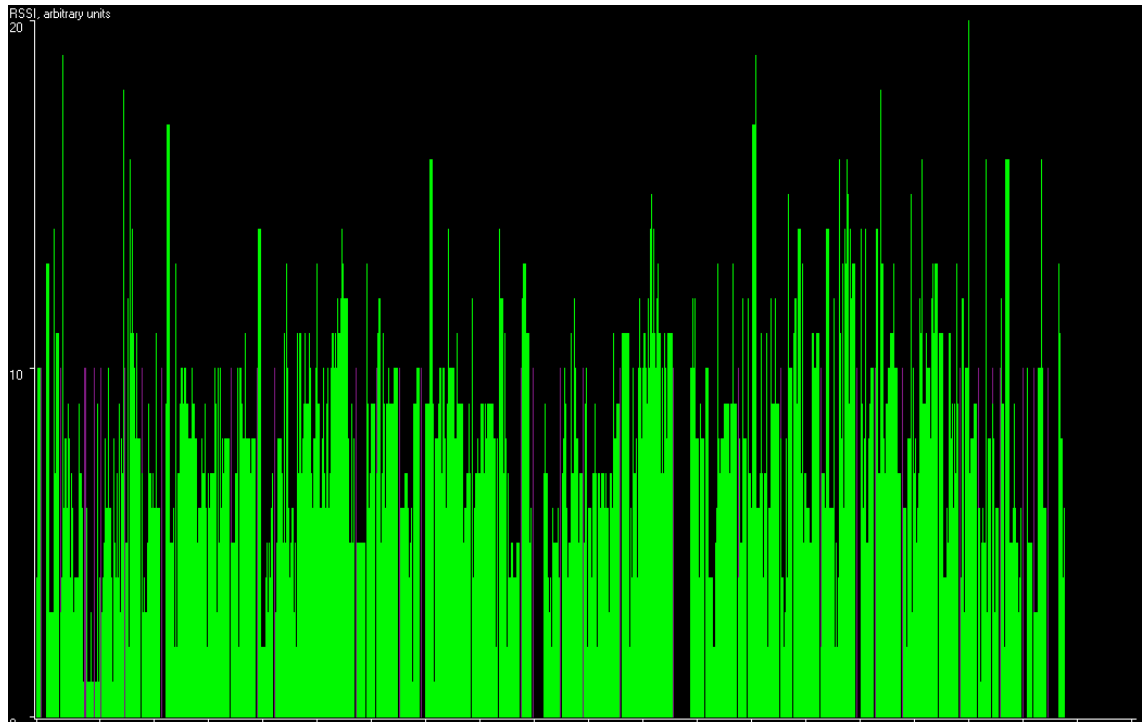
Liite 4: IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 9



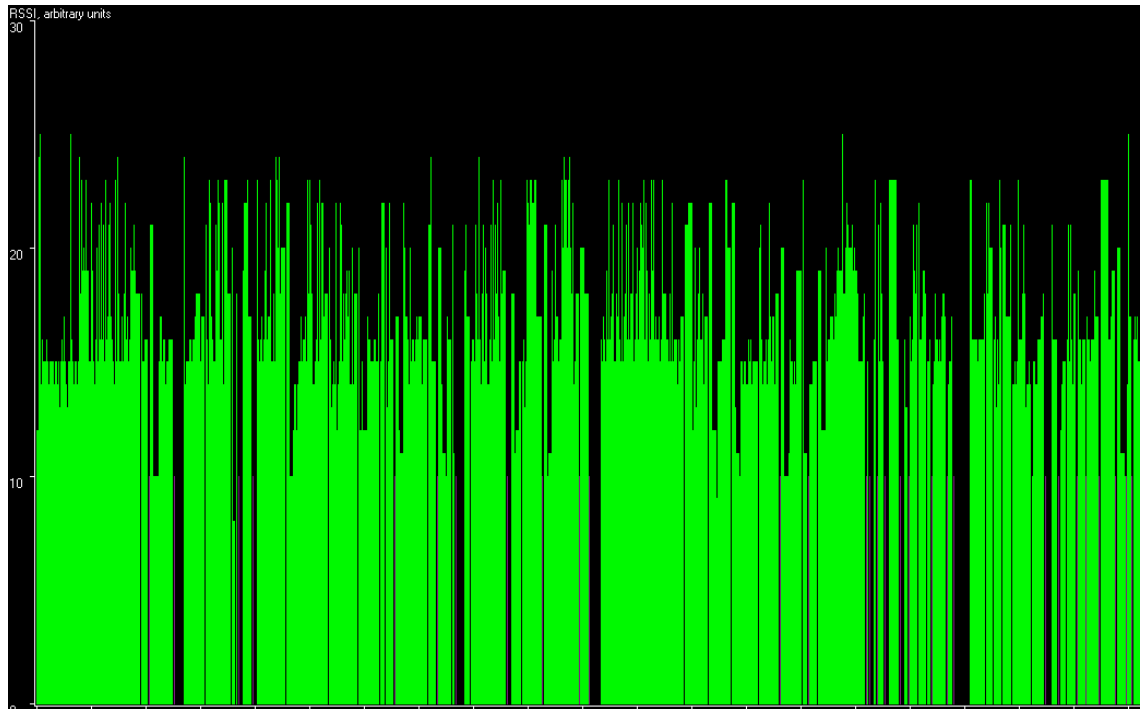
Liite 5: Network Stumbler -PC-ohjelman data, Laptop1 kanavalla 11



Liite 6: Network Stumbler -PC-ohjelman data, Laptop1 kanavalla 10



Liite 7: Network Stumbler -PC-ohjelman data, Laptop1 kanavalla 9



Liite 8: IEEE 802.11n -verkko kanavilla 6 ja 4, IEEE 802.11g -verkko kanavalla 13

