

Teemu Moilanen

Videon suoratoisto WLAN-verkoissa ryhmä-
lähetystä käyttäen

Tekijä Otsikko	Teemu Moilanen Videon suoratoisto WLAN-verkoissa ryhmälähetystä käyttäen
Sivumäärä Aika	37 sivua + 3 liitettä 8.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	tietoverkot
Ohjaajat	Technical Product Manager Antti Vihavainen yliopettaja Matti Puska
<p>Laajakaistan välityksellä tarjottavien lisäpalveluiden määrä on viime vuosina ollut kovassa kasvussa. Tämän tyyppisistä palveluista IPTV-palvelu on hyvä esimerkki.</p> <p>Työn tarkoituksena on tutkia kuluttajille suunnattujen WLAN-laitteiden suorituskykyä videonsiirrossa. Langattomilla laitteilla tuli ryhmälähetystekniikkaa hyväksikäyttäen pystyä siirtämään HD-tasoista videokuvaa luotettavasti laajakaistareitittimen ja IPTV-vastaanottimen välillä. Laitteille suoritetuilla testeillä pyrittiin simuloimaan TeliaSoneran KotiTV-palvelun toimintaa ja käyttöä. Testit suoritettiin käyttäen videon suoratoistoa ja erillisiä pakettigeneraattorilla luotuja pakettikuvia.</p> <p>Työn testaus suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäiseksi suoritettiin alkutestaus, jossa määritettiin laitteiden kriteerit ja luotiin laitteiden toimivuudesta karkea yleiskäsitys. Tämä tehtiin vertailemalla langattoman ja langallisen verkon eroja ryhmälähetysuoratoistossa. Testaus suoritettiin TeliaSoneran tiloissa Helsingissä, jossa sijaitsee erillinen KotiTV:n testausstudio. Alkutestauksesta saatujen tietojen perusteella suoritettiin tarkemmat ja perusteellisemmat testaukset neljälle eri valmistajan laiteparille.</p> <p>Testaustuloksien perusteella saatiin hyvä käsitys langattomissa verkoissa havaittavista ongelmista ja eri valmistajien laitteiden välisistä eroista. Testausten perusteella tärkeimmiksi ominaisuuksiksi laitteille havaittiin toimintataajuus, QoS-käsittely ja WDS-siltaus. Työ antaa teoreettisen pohjan lähdeäessä suunnittelemaan ja toteuttamaan ryhmälähetystiedonsiirtoa langattomissa verkoissa. Tulosten perusteella TeliaSonera on aloittanut jatkotutkimuksen potentiaalisten laitteiden tuomisesta kuluttajien käyttöön.</p>	
Avainsanat	WLAN, WDS, ryhmälähetys, IGMP, videonsuoratoisto

Author Title	Teemu Moilanen Streaming multicast video over WIFI
Number of Pages Date	37 pages + 3 appendices 8 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Computer Networks
Instructors	Antti Vihavainen, Technical Product Manager Matti Puska, Principal Lecturer
<p>Broadband operators are constantly bringing new features along with normal Internet connections. These features are effective means to grow sales. IPTV is a very good example of these new features.</p> <p>The main objective for this thesis was to investigate consumer WLAN equipment performance in video transmission. Wireless devices must be able to transmit high quality video streams using the multicast technique between broadband router and set-top box without interference. The devices were tested by two different methods in lab environment. These test results were compared with the reference methods.</p> <p>First the devices were tested briefly on TeliaSonera's premises using their IPTV product called KotiTV. This test gave an overall view of the true performance of the devices, and six of these devices were selected for further testing. In the second part of testing the devices underwent stress tests carried out with a packet generator.</p> <p>The test results show which of these devices have the transmit rate that is a requirement for IPTV usage. Most important features that stood out in the test were QoS packet prioritisation and operating frequency. This project creates a foundation for understanding how multicast traffic affects wireless networks. As the outcome of this project TeliaSonera has launched a pilot testing set with the devices used in this thesis. The aim is to provide customers with more potential and cheaper devices.</p>	
Keywords	WLAN, WDS, multicast, IGMP, video streaming

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ryhmälähetys	2
2.1	Ryhmät ja osoitteet	2
2.2	Reititys	3
2.3	ICMP Group Membership Protocol	6
3	802.11-standardi	9
3.1	802.11g-standardi	12
3.2	802.11n-standardi	12
3.3	Quality Of Service, QoS	14
3.4	Ryhmälähetys langattomassa verkossa	14
3.5	Wireless Distribution System, WDS	15
4	Langattoman verkon tietoturva	18
4.1	Pääsynhallinta	18
4.2	Liikenteen salaus	19
5	Moving Pictures Experts Group, MPEG	21
5.1	MPEG-2-standardi	21
5.2	MPEG-4-standardi	23
6	Käytännön testaus	24
6.1	Työn tausta	24
6.2	KotiTV:n tutkiminen ja testaustyökalujen määrittäminen	25
6.3	Alkutestaus	26
6.4	Testaus pakettigeneraattorilla	27
6.5	Testaus videon suoratoistolla	29
6.6	Testaustulokset	31
6.6.1	Pakettigeneraattoritestauksen tulokset	32
6.6.2	Videon suoratoiston tulokset	34
7	Johtopäätökset	34
	Lähteet	36

Liitteet

Liite 1. Pakettigeneraattoritestaus vakiobittinopeudella

Liite 2. Pakettigeneraattoritestaus muuttuvalla bittinopeudella

Liite 3. Videonsuoratoisto testaus

Lyhenteet

802.11	IEEE-standardi, joka määrittää langattoman lähiverkon.
802.11e	Langattomien lähiverkkojen QoS-laajennus, joka mahdollistaa pakettien priorisoinnin WLAN-verkoissa.
802.11g	Standardi, joka määrittää 54 Mbps nopeuden WLAN-verkoissa, käyttäen 2,4 GHz:n taajuusalueita.
802.11i	Langattomien lähiverkkojen uusin tietoturva-standardi, joka määrittää mm. WPA2-AES salauksen.
802.11n	802.11a- ja 802.11g-standardien parannus, joka määrittää jopa 600 Mbps nopeuden WLAN-verkossa. Standardi käyttää 2,4 ja 5 GHz:n taajuusalueita.
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i> . Murtamaton lohkosalausmenetelmä, joka on DES ja 3DES menetelmien seuraaja.
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i> . Menetelmä, jolla IP-osoitteet yhdistetään MAC-osoitteisiin.
BSS	<i>Basic Service Set</i> . Langattomien asemien muodostama ryhmä, jossa kaikki langattomat asemat pystyvät keskustelemaan keskenään.
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance</i> . WLAN-verkoissa käytetty medianvarausjärjestelmä, jolla pyritään ehkäisemään päällekkäisten lähetyksien syntymistä. Infrastruktuuri muodossa tukiasema ohjailee liikennettä erillisillä ohjauskehyksillä.
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection</i> . Ethernet-verkoissa käytetty siirtotien varausmenetelmä, jolla pystytään estämään päällekkäisten lähetyksien syntyminen. Laitteet tarkkailevat siirtotien jännitetasoja ja päättävät tämän avulla lähetyksen ajankohdan.
H.264/AVC	<i>Advanced Video Coding</i> . MPEG-standardi, joka määrittää erittäin korkean pakkaussuhteen, säilyttäen kuitenkin hyvän kuvanlaadun. Pakkausmuotoa käytetään mm. IPTV-palveluiden HD-lähetyksissä.
IGMP	<i>Internet Group Management Protocol</i> . Ryhmälähetyksissä käytetty ohjausprotokolla.
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i> . Tapa lähettää televisiolähetyksiä IP-verkkoa hyväksikäyttäen. IPTV mahdollistaa myös erilaisten palveluiden tarjonnan asiakkaalle.
MAC-osoite	<i>Media Access Control Address</i> . Verkkolaitteelle valmistajan määrittämä fyysinen verkko-osoite.

Mgen	Ilmaisjakeluna saatava pakettigeneraattori, jolla pystytään luomaan monimuotoisia pakettijonoja.
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i> . Antenni rakenne, joka mahdollistaa useamman antennin käytön sekä lähetyksessä, että vastaanotossa. Käytössä useimmissa 802.11n-standardin laitteissa.
MPDU	<i>MAC Protocol Data Unit</i> . Fyysisen kerroksen kehysrakenne, jolla laitteet keskustelevat keskenään.
MPEG	<i>Moving Pictures Experts Group</i> . Ryhmä, jonka tarkoituksena on kehittää ja ylläpitää videonpakkaukseen tarkoitettuja standardeja. Tärkeimmiksi standardeiksi voidaan mainita MPEG-2- ja MPEG-4/H.264-standardit.
QoS	<i>Quality of Service</i> . Määrittää pakettiluokat ja priorisointi mallit, joilla palvelun laatua voidaan parantaa. Tarkoituksena on antaa ns. etujao-oikeus sellaisille paketeille, joiden lähettäminen on etusijalla, kuten reaaliaikaiset video-palvelut.
SSID	<i>Service Set Identifier</i> . Tukiaseman lähettämä verkkonimi.
STB	<i>Set Top Box</i> . IPTV-palveluissa käytetty laite, jolla IPTV-lähetyksiä voidaan vastaanottaa.
TKIP	<i>Temporal Key Integrity Protocol</i> . WEP-salauksen seuraaja, jossa kertakäyttöavaimia vaihdetaan tiheään tahtiin. Käytetään useissa tukiasemissa, mutta on huomattavasti heikompi menetelmä kuin AES-salaus.
TTL	<i>Time To Leave</i> . Aika-arvo, jolla määritetään kehyksen elinikä tietoverkoissa. Jokainen hyppy reitittimen yli pienentää kehyksen TTL-arvoa.
WDS	<i>Wireless Distribution System</i> . Standardoimaton WLAN-siltaus menetelmä, joka mahdollistaa langattomanverkon kantavuuden parantamista. WDS on valmistajakohtainen, joten käytettävien laitteiden tulisi olla identtiset.
WEP	<i>Wired Equivalent Privacy</i> . WLAN-verkoissa ensimmäiseksi käytetty salausmenetelmä, jonka tietoturvaso nykymittapuussa on erittäin heikko.
Wireshark	Ilmaisjakeluna saatava verkondiagnosointiohjelma, jolla verkossa kulkevia paketteja pystytään tutkimaan. Ohjelmaan on saatavissa myös muutoksia, joilla 802.11 kehyksiä voidaan tutkia, vaikkakin ensisijainen käyttökohde on Ethernet-kehukset.
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> . Langaton lähiverkko.
VLC	Ilmaisjakeluna saatava mediasoitin/mediapalvelin. Saatavissa usealle eri alustalle ja tukee natiivisti melkein kaikkia nykyaikaisia medianpakkausmuotoja.

WMM *Wireless Multimedia.* 802.11e-standardissa määritetty
langattomienverkkojen pakettipriorisointiin tarkoitettu lisäosa.
Mahdollistaa QoS-parametrien tulkinnan ja pakettipriorisoinnin.

1 Johdanto

Elämme aikaa, jossa nopeiden laajakaistayhteyksien määrä kotitalouksissa on suuressa kasvussa. Tämän johdosta on myös laajakaistaa hyväksikäyttävien multimediasovellusten kysyntä kasvanut. Näistä hyvä esimerkki on IPTV-palvelut, joissa perinteiseen televisioon saadaan lisättyä reaaliaikaisia lisäpalveluita, kuten videovuokraamo. Nopean laajakaistayhteyden liittäminen kiinteistöön on nykyään vaivatonta, mutta toista voidaan sanoa kiinteistöjen sisäisestä verkosta. Vaikkakin yleiskaapelointia käytetään nykyään enemmän, ei vanhemmissa kiinteistöissä tätä mahdollisuutta välttämättä ole. Tällöin on IPTV:lle vaadittava siirtotie rakennettava erikseen.

Tässä työssä kartoitetaan mahdollisuutta, jossa kuluttajille suunnatuilla WLAN-laitteilla pystyttäisiin rakentamaan luotettava langaton siirtotie IPTV-tiedonsiirtoa ajatellen. Työssä testataan usean eri laitevalmistajan WLAN-tuotteita, tarkoituksena löytää kohtuuhintainen laitepari, jolla videon suoratoisto on mahdollista. Työssä paneudutaan myös ryhmälähetystekniikan tuomiin ongelmiin WLAN-verkoissa. Työn keskeisimmäksi tekniikaksi kohosi WDS-tekniikka, joka on käytössä yhä useammalla laitevalmistajalla.

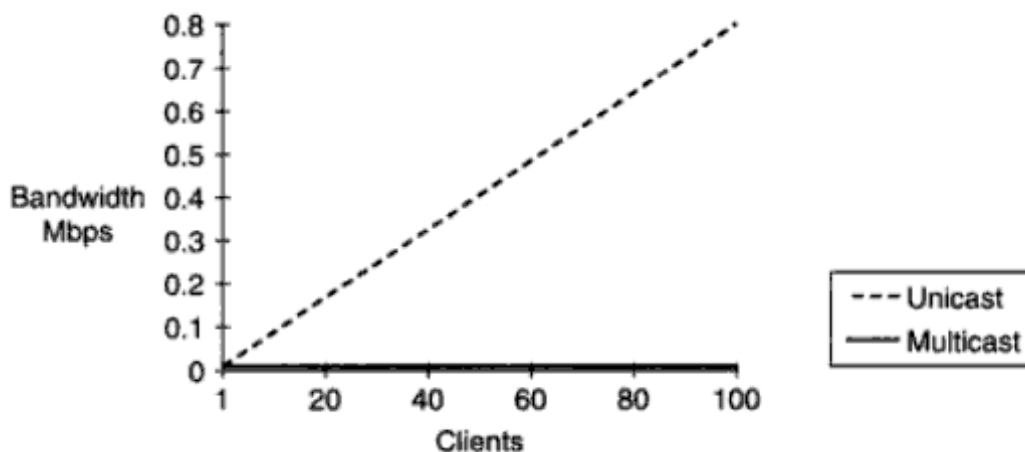
Työ toteutettiin yhteistyössä TeliaSoneran kanssa, jonka kriteereiden mukaan laitteiden testaus suoritettiin. TeliaSonera tarjoaa KotiTV-palveluaan laajakaista-asiakkaille. Palvelu sisältää nopean laajakaistayhteyden, verkkotallennusmahdollisuuden sekä erilaisia lisäpalveluita, kuten videovuokraamon. Yleisesti IPTV-palveluiden esteenä on nimenomaan yleiskaapeloinnin puute sekä vanhemmissa huoneistoissa puhelinpistokkeiden huono sijainti.

Testattavaksi valittiin kuusi laiteparia, joille suoritettiin useita rasiustestejä. Näiden testien tarkoituksena oli simuloida TeliaSoneran KotiTV-palvelun toimintaa. Testauksista saatujen tulosten perusteella voitiin laitteiden ominaisuuksia kartoittaa ja tehdä niihin mahdollisia muutoksia toiminnan parantamiseksi. Testatuilta laitteilta haettiin luotettavaa toimivuutta, helppoa käyttöönottoa sekä kustannustehokkuutta.

2 Ryhmälähetys

Ryhmälähetys (Multicast) on tapa jakaa esimerkiksi video- tai äänilähetykset usealle asiakkaalle säästämällä käytettävissä olevaa kaistaa. Esimerkiksi jos halutaan lähettää reaaliaikaista videota verkossa usealle vastaanottajalle, voidaan tässä hyödyntää ryhmälähetystä. (6, s. 7–8.)

Tavallisessa yksittäislähetyksessä (Unicast) jokaiselle vastaanottavalle asemalle videovirta täytyy lähettää erikseen, minkä seurauksena verkko kuormittuu. Ryhmälähetyksessä riittää, että lähettävä asema lähettää vain yhden videovirran, jonka vastaanottavat asemat voivat halutessaan vastaanottaa. Kuvassa 1 olevasta kuvaajasta näkyy, miten nämä kaksi lähetystapaa käyttävät kaistaa eri tavoin. (6, s. 7–8.)



Kuva 1. Yksittäislähetysten kaistankäyttö verrattuna ryhmälähetysten kaistankäyttöön (6, s. 8).

2.1 Ryhmät ja osoitteet

Ryhmälähetys voidaan sekoittaa yleislähetykseen (Broadcast), jossa viestit lähetetään kaikille verkon asemille, kuten ARP-kyselyt (Address Resolution Protocol). Ryhmälähetyksessä vastaanottavat asemat liittyvät tiettyyn ryhmään, johon viestit on osoitettu. Asemat liittyvät ja eroavat ryhmistä IGMP-viesteillä (Internet Group Management Protocol). Jokainen ryhmä tunnustetaan D-luokan IP-osoitteilla. Taulukossa 1 näkyvät yleisesti tiedossa olevat varatut osoitteet. Ryhmälähetysosoitteet

239.0.0.0 – 239.255.255.255 ovat sisäisesti vapaasti käytettävä osoiteavaruus, kuten 10.x.x.x tai 192.x.x.x osoitteet. (7, s. 28–30; 8, s. 2–3.)

Taulukko 1. Varatut ryhmälähetysosoitteet (7, s. 28–29).

Yleisesti tiedossa olevat paikalliset osoitteet

224.0.0.1	Kaikki aliverkon asemat
224.0.0.2	Kaikki aliverkon reitittimet
224.0.0.4	DVMRP-reitittimet
224.0.0.5	OSPF-reitittimet
224.0.0.6	OSPF-valitut reitittimet
224.0.0.12	DHCP-palvelin/asiakas toimitus
224.0.0.13	Kaikki PIM-reitittimet
224.0.0.22	Kaikki IGMPv3-yhteensopivat reitittimet
224.0.0.102	HSRP
223.0.0.253	Teredo

Globaalit osoitteet (224.0.1.0 – 238.255.255.255)

224.0.1.1	NTP
224.1.0.0 – 224.1.255.255.255	ST-ryhmälähettykset
224.2.0.0 – 224.2.127.253	Multimedia kokouspuhelut
224.2.127.254	SAPv1-lähettykset
224.2.128.0 – 224.2.255.255	SAP-dynaamiset osoiteukset
224.252.0.0 – 224.255.255.255	DIS-siirtoryhmät
232.0.0.0 – 232.255.255.255	VMTP-siirtoryhmät

Ryhmälähetyksessä käytettävät MAC-osoitteet (Media Access Control) saadaan, kun yhdistetään MAC-osoitteen ensimmäiset 24 bittiä (valmistajan merkkibitit) ja ryhmälähetysosoitteen viimeiset 23 bittiä. Esimerkiksi Broadcomin valmistamalle verkkokortille (00:11:24) ryhmälähetysosoitteen 224.1.1.13 MAC-osoite olisi 00:11:24:01:01:0D. (8, s. 3.)

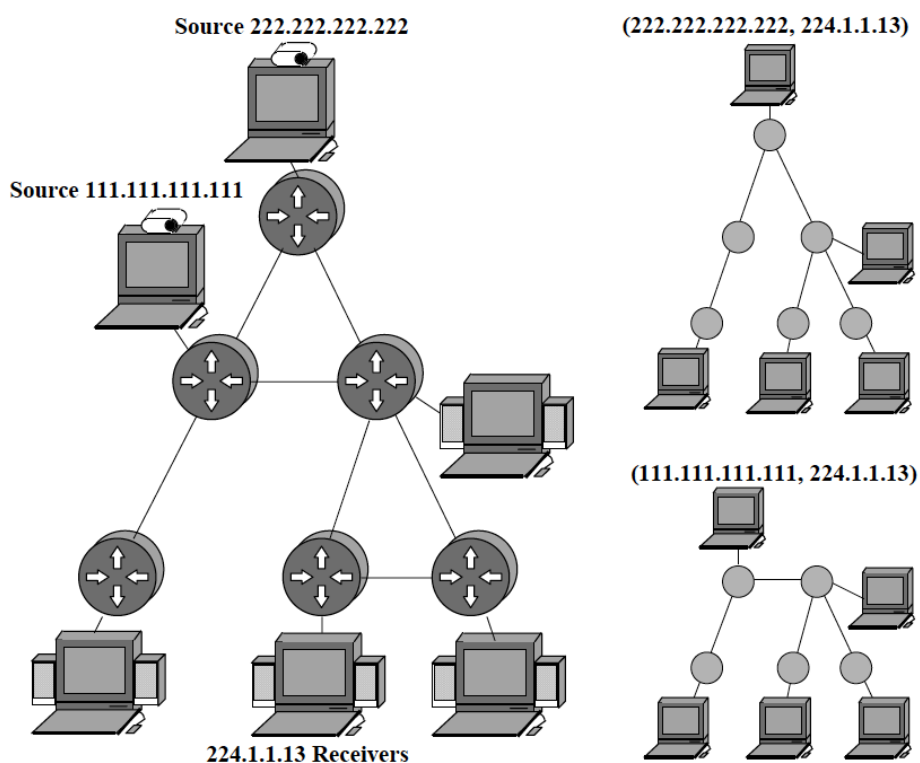
2.2 Reititys

Reitittäessä ryhmälähetysanomia verkosta toiseen täytyy reitittimen selvittää, missä ryhmään liittyneet asemat sijaitsevat. Reititys päätökset tehdään käyttäen IP-osoitetta ja TTL-arvoa (Time To Life). Jokainen reititin pienentää TTL-arvoa yhdellä yksiköllä niin kauan, kunnes arvo on nolla. Mikäli reititin saa sanoman, jonka TTL-arvo on jo nolla, ei sanomaa lähetetä eteenpäin. Mikäli sanoman TTL-arvo on suurempi kuin nolla, lähetetään sanoma kaikille ryhmään kuuluville asemille. Kun lähettävä asema lähettää ensimmäisen sanoman, määrätään TTL-arvoksi yksi ja se jää odottamaan vastausta. Jos vastausta ei saada, suurennetaan TTL-arvoa yhdellä ja lähetetään sanoma uudelleen (asemat sijaitsevat toisessa aliverkossa). Jos vastausta ei edelleenkään

saada, suurennetaan TTL-arvoa uudelleen niin kauan kunnes vastaus saadaan. Mikäli ryhmälähetysosoite on välillä 224.0.0.0–224.0.0.255, ei näitä sanomia välitetä aliverkosta eteenpäin. (7, s. 40–42.)

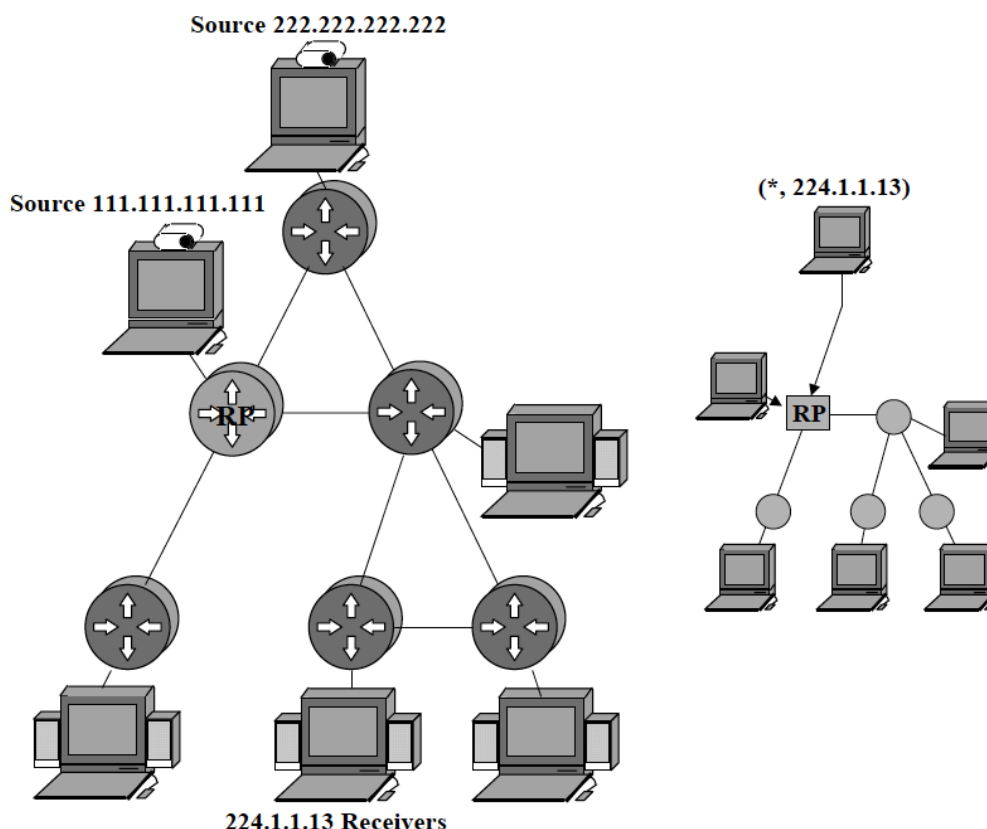
Edellä kuvatulla tavalla reitittimet muodostavat ryhmälähetyspuun. Koska asemat voivat liittyä ja poistua ryhmistä milloin tahansa, on reitityspuun pakko päivittyä dynaamisesti. Peruspuurakenteita on kaksi, lyhyin reitti (Source Tree/Shortest Path Trees, SPT) ja jaettu puu (Source-Based Tree/Share-Based tree). Kummassakin sanomat replikoidaan vain oksakohdassa ja molemmat ovat silmukattomia (Loop-Free) verkkoja. (7, s. 40–44; 8, s. 6–8.)

Kuvassa 2 on näistä ensimmäiseksi mainitussa eli lyhyimmässä reitissä on juuri, josta sanomat lähetetään ja oksat haarautuvat vastaanottajille. Sanomat lähetetään käyttäen lyhintä mahdollista reittiä. Jokaiselle lähettäjälle muodostuu oma puu, ja tämän takia reititystaulun ylläpitämiseksi tarvitaan reitittimeltä paljon resursseja. (7, s. 40–44; 8, s. 6–8.)



Kuva 2. Lähde puu (Source tree) (8, s. 7).

Kuvassa 3 olevassa jaetussa puussa käytetään yhteistä juurta jokaiselle lähettäjälle. Juurta kutsutaan kokoontumispisteeksi (Rendezvous Point, RP), joka sijaitsee keskeisellä paikalla verkossa. Lähetettävät sanomat kiertävät kokoontumispisteen kautta, josta ne edelleen reititetään verkossa eteenpäin. Näin ollen jokaisen reitittimen ei tarvitse tallentaa koko reitityspuuta, jolloin säästetään resursseja. Haittapuolena voidaan todeta, että sanomat eivät välttämättä kulje optimaalista reittiä, jolloin viive voi kasvaa. (7, s. 40–44; 8, s. 6–8.)



Kuva 3. Jaettu puu (Shared tree) (8. s 8).

Koska ryhmälähetyksessä voi olla useita vastaanottajia, on reitittimen otettava huomioon myös datan kulkusuunta. Yksittäisessä lähetyksessä reititin käyttää reititystaulua selvittääkseen, missä vastaanottaja sijaitsee. Reitittimen siis tarvitsee vain ottaa kantaa vastaanottajan IP-osoitteeseen, jonka mukaan edelleenlähettävä liitäntä (Interface) valitaan. Ryhmälähetyksessä reitittimen pitää kuitenkin huomioida datan tulo- (Upstream) ja lähtöliitännät (Downstream). Tähän käytetään Reverse Path Forwarding (RPF) -menetelmää. Kun ryhmälähetykspaketti saapuu reitittimelle, tämä tarkistaa, onko paketti tullut lähettäjä lähinnä olevalle liitännälle. Mikäli näin on, saadaan RPF-tarkistuksen arvoksi tosi, ja paketti lähetetään eteenpäin kohti

vastaanottajaa. Mikäli RPF-tarkistuksen tulos on epätosi, ei pakettia lähetetä eteenpäin. (7, s. 47.)

Toinen ryhmälähetyksessä käytetty reititysalgoritmi on CBT (Center-Based Tree Algorithm). CBT rakentaa jokaiselle ryhmälle oman jakelupuun, joka on kuitenkin identtinen jokaiselle lähteelle. Verkosta valitaan keskus piste (Center Point), jolle jokainen vastaanottaja lähettää liittymissanoman (Join request) käyttäen IGMP:tä. Jos reititin kuuluu jo kyseiseen ryhmään, merkitsee se yhden liitännöistään kuuluvaksi siihen. Mikäli reititin ei vielä ole ryhmän jäsen, lähettää se viestin edelleen kohti lähettäjä. Ryhmälähetyspaketit lähetetään kohti keskus pistettä, kunnes ne saavuttavat reitittimen, joka sijaitsee jakelupuussa. (7, s. 48.)

2.3 ICMP Group Membership Protocol

IGMP-viesteillä asemat liittyvät ja poistuvat eri ryhmistä. Asema kommunikoi reitittimen kanssa. Reititin pitää kirjaa siitä mikä asema kuuluu mihinkin ryhmään. Reititin myös tarkistaa aika ajoin aktiiviset ryhmät ja tekee reitityspäätökset näiden perusteella. IGMP:stä on olemassa kolme eri versiota, joista uusin IGMPv3 julkaistiin vuonna 2002. (7, s. 51–52.)

IGMPv1 sisältää vain kahdenlaisia viestejä, MQ (Membership Query) ja MR (Membership Request). Asema, joka haluaa vastaanottaa ryhmälähetys sanomia, lähettää reitittimelle MR-viestin. Reititin luo reititystauluun tarvittavat parametrit ja rupeaa välittämään ryhmälähetys sanomia kyseiseen aliverkkoon. IGMPv1:ssa ei ole erillistä viestiä ryhmästä poistumiseen, vaan reititin lähettää MQ-sanomia tietyin väliajoin. Mikäli näihin ei saada vastausta, lopetetaan viestien välitys aliverkkoon. (7, s. 52–53.)

IGMPv2 uudisti protokollaa uudella LG-viestillä (Leave Group). Tällä asemat voivat ilmaista haluavansa poistua ryhmästä. Kun reititin vastaanottaa LG-viestin, se lähettää kyseiseen ryhmään kyselyn, jolla selvitetään, onko aliverkossa enää yhtään ryhmän jäsentä. Mikäli kyselyyn ei saada vastausta, lopetetaan pakettien välitys. IGMP-sanoma muodostuu kahdeksasta tavusta, ja se on kapseloitu IP-paketin sisälle. Kuvassa 4 näkyy IGMPv1- ja IGMPv2-kehysten rakenne. (7, s. 52–53.)

+	Bits 0 - 7	8 - 15	16 - 31
0	Type	Max Resp Time	Checksum
32	Group Address		

Kuva 4. IGMPv2 kehyksen rakenne (9).

Tyyppi-kentässä (Type) ilmoitetaan viestin tyyppi, joka voi olla yksi seuraavasta:

- MQ 0x11
- Report (0x12)
- MR (0x16)
- LG (0x17).

Maksimivastausaika (Max Response Time) määrittää, kuinka kauan reititin odottaa kyselyiden vastauksia ennen aikakatkaisua. Tarkistusarvo (Checksum) saadaan komplementoimalla kehyksen hyötydata.

IGMPv3 on muuten sama kuin IGMPv2 mutta lisää tuen lähdespesifiselle suodatukselle (Source Filtering). Näin reitittimen ei tarvitse lähettää ryhmälähetyspaketteja verkon sellaiseen osaan, jossa ei ole siitä kiinnostuneita vastaanottajia. Myös ryhmistä poistumiseen ja liittymiseen tarvittavien viestien määrää on pienennetty. Vastaanottajat voivat käyttää kahta eri tapaa ilmoittaessaan kiinnostuksensa ryhmän sisältöön.

- Sisällytä-tilassa (Include mode) vastaanottaja ilmoittaa IGMP-viestissä niiden ryhmien IP-osoitteet, joista haluaa vastaanottaa paketteja.
- Poissulje-tilassa (Exclude mode) vastaanottaja lähettää IGMP-viestissä niiden ryhmien IP-osoitteet, joista ei ole kiinnostunut.

Jotta edellä olevat tilat olisivat mahdollisia, on MQ-viestiä muutettu IGMPv2:sta. Myös uusi 0x22-sanomatyyppi on lisätty. Huomioitavaa on, että IGMPv3:n on tuettava myös viestejä 0x12, 0x16 ja 0x17. MQ-viestistä on käytössä kolme erilaista muotoa:

- Peruskyselyn (General Query) reititin lähettää kaikkiin liitännöihin nähdäkseen halukkaat vastaanottajat
- Ryhmäkohtaisella kyselyllä (Group-specific Query) reititin selvittää onko tiettyyn ryhmään kiinnostuneita vastaanottajia
- Ryhmä- ja lähdekohtaisella kyselyllä (Group-and-source-specific Query) reititin selvittää, onko tietyn lähettäjän tiettyyn ryhmään kiinnostuneita vastaanottajia. (7, s. 55–57.)

bit offset	0-3	4	5-7	8-15	16-31
0	Type = 0x11			Max Resp Code	Checksum
32	Group Address				
64	Resv	S	QRV	QQIC	Number of Sources (N)
96	Source Address [1]				
128	Source Address [2]				
	...				
	Source Address [N]				

Kuva 5. IGMPv3 kehyksen rakenne (9).

Verrattaessa kuvassa 5 nähtävää IGMPv3:n kehystä IGMPv2:n kehykseen, on se muuttunut. Max Response Code -kenttä määrää, kuinka kauan odotetaan ennen kuin lähetetään vastausviesti. S-lipulla määrätään jokaista vastaanottavaa reititintä pienentämään päivitysaikaa. QRV-arvo (Querier's Robustness Variable) kertoo mahdollisen pakettihävikkitoleranssin. QQIC (Querier's Query Interval Code) määrittää kyselyiden aikavälin. Number of sources kertoo, kuinka monta osoitetta kyselyssä on. (7, s. 55–61.)

Koska IGMP-viestit lähetetään yleislähetyksen tavoin kaikkiin kytkimen portteihin, voivat ne tukkia verkon nopeasti. Tätä varten on kehitetty IGMP Snooping, joka tutkailee verkossa tapahtuvaa IGMP-viestien vaihtoa ja pitää listaa, missä ryhmälähetyksiä halutaan vastaanottaa. Tätä voidaan verrata kytkimen ARP-tauluun, joka kytkee IP-osoitteet MAC-osoitteisiin. (15, s. 2–3; 16, s. 1–3.)

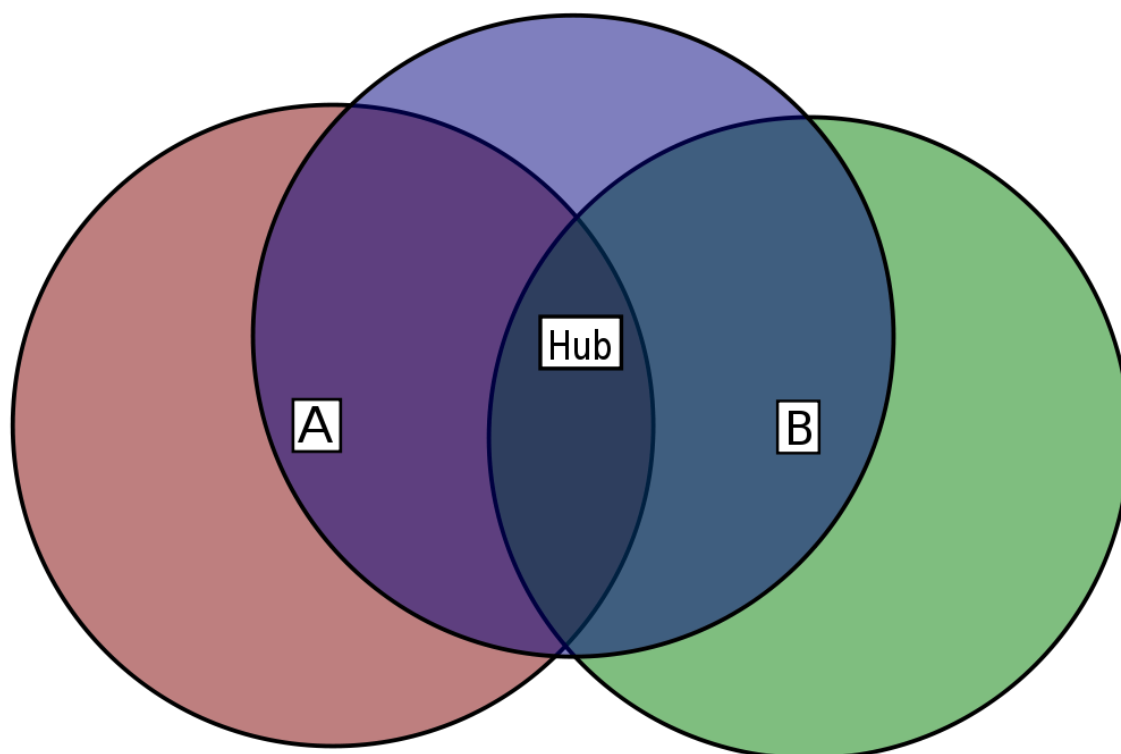
3 802.11-standardi

Langattomien verkkojen lukumäärä on ollut kovassa kasvussa. Vaikkakin langaton verkko tuo tullessaan vapauden johdoista, on tästä maksettava siirtonopeudessa. Esimerkiksi 802.11g:n teoreettinen siirtonopeus 54 Mbps, mutta todellinen nopeus vaihtelee 20–25 Mbps:n välillä (12, s. 379). Normaaliin Internet-selailuun nopeus riittää, mutta multimedian suoratoistoon nämä nopeudet eivät riitä.

Langattomat verkot voivat toimia kahdessa eri tilassa, joista yleisempi infrastruktuuri käsittää tukiaseman ja siihen liitetyt pääteasemat. Toinen vähemmän käytetty tila on Ad-hoc-tila, jossa kaksi pääteasemaa luo verkon keskenään. Tätä voidaan verrata myöhemmin työssä läpikäytävään verkon siltaukseseen, jossa kaksi tai useampi tukiasema yhdistetään toisiinsa luoden yhden isomman verkon.

Verrattaessa normaalia langallista Ethernetiä ja langatonta verkkoa toisiinsa on huomattava, että Ethernet on yleensä kaksisuuntainen (Full Duplex) ja käytössä on CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection*). CSMA/CD-protokollaa käytetään törmäysten tunnistukseen ja pakettien uudelleenlähetykseen. Näin on mahdollista saada jopa 10 Gbps:n siirtonopeus langallisessa verkossa. Langattomissa verkoissa käytetään CSMA/CA-protokollaa (*Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection*). CSMA/CD tunnistaa verkossa mahdolliset törmäykset, kun taas CSMA/CA perustuu törmäysten ennaltaehkäisyyn. Jokaisen lähettävän laitteen tulee ensin varmistaa, että siirtotiellä ei ole päällekkäisiä lähetyksiä. Asemat nuuskivat siirtotietä, ja mikäli muita lähetyksiä ei ole, voi asema lähettää datansa.

Koska langattomissa verkoissa eri päätelaitteet eivät välttämättä tiedä toistensa olemassaolosta, ei CSMA/CD-protokollaa voida käyttää. Tätä ongelmaa kutsutaan piilotetun aseman (Hidden Node) ongelmaksi. Kun kaksi tai useampi toisistaan kaukana oleva asema käyttää samaa tukiasemaa, eivät asemat välttämättä näe toinen toistaan.

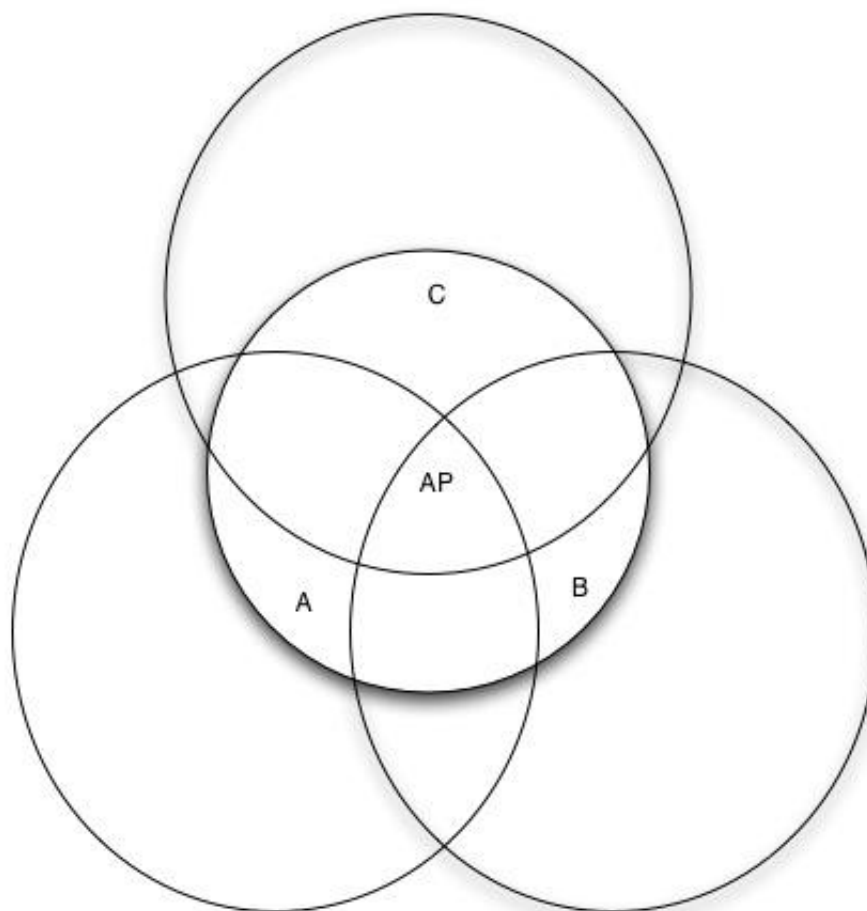


Kuva 6. Piilotetun aseman ongelma (13).

Kuvan 6 tapauksessa asema A ja asema B eivät tiedä toistensa olemassaolosta ja näin asemat voivat tietämättään lähettää paketteja samanaikaisesti. Tätä ongelmaa ehkäisemään käytetään RTS/CTS-kättelyä (Request To Send/Clear To Send). Tällöin jokainen lähettävä asema joutuu pyytämään erikseen tukiasemalta luvan datan lähetykseen. Aina ennen lähetystä on aseman nuuskittava siirtotietä ja varmistettava, että samanaikaisia lähetyksiä ei ole käynnissä. Tämän tehtyään asema lähettää RTS-pyyntön yleislähetyksenä (Broadcast) kaikille asemille. Pyyntö sisältää lähetysajan sekä lähettäjän ja vastaanottajan osoitteet. Mikäli siirtotie on vapaa, vastaa tukiasema CTS-viestillä, joka sisältää saman lähetysajan.

Vaikka RTS/CTS ratkaisee piilossa olevien asemien ongelman, on siinä silti muutamia haittapuolia. Mikäli asema on vastaanottanut RTS-sanoman asemalta, joka jostain syystä ei enää ole verkossa, joutuu asema odottamaan RTS-viestissä olleen lähetysajan. Näin ollen jos vastaanottava asema haluaisi lähettää paketteja ja siirtotie on vapaa, joutuu se turhaan odottamaan. Tätä ilmiötä kutsutaan tukitun aseman ongelmaksi (Gagged-station problem). (14, 1–3.)

Toinen ongelmakohta muodostuu, mikäli verkossa olevat asemat eivät jostain syystä vastaanota yleislähetystenä RTS-sanomaa.



Kuva 7. RTS/CTS peitetyn aseman ongelmatapaus.

Mikäli kuvassa 7 nähtävä asema A lähettää yleislähetystenä RTS-sanoman, jonka asema B vastaanottaa, mutta asema C ei vastaanota, lähettää asema B CTS-viestin asemalle A ja jää odottamaan lähetystä. Mutta asema C ei tiedä, että asema A lähettää paketteja ja voi ruveta lähettämään samanaikaisesti viestejä. Tätä ongelmaa kutsutaan nimellä peitetyn aseman -ongelma.

RTS/CTS-kättelyä käytetään tietyn raja-arvon ylittäneille kehyksille. RTS/CTS on 802.11-standardin optio, mutta sitä on suositeltavaa käyttää, mikäli verkossa on paljon liikennettä ja asemia. Useimmissa tukiasemissa voidaan RTS/CTS-kättelyyn puuttua erillisellä RTS Threshold -arvolla. Tällä pystytään määrittämään paketille maksimikoko, jonka jälkeen RTS/CTS-kättely otetaan käyttöön.

Mikäli kehyksen koko ei ylitä RTS/CTS-raja-arvoa, joutuvat asemat kilpailemaan kanavasta. Lähettävä asema sijoittaa MPDU-kehyksen (MAC Protocol Data Unit) kestokenttään (Duration) varausajan, jolla lähettäjä varaa kanavan käyttöönsä. Tätä varausvektoria NAV (Network Allocation Vector) lähettäjä voi tarkentaa seuraavissa kehyksissä. Mikäli lähetys loppuisi ennen varausta, on kaista silti varattu ja muiden lähettäjien on odotettava varauksen umpeutumista. (1, s. 29–31; 10, s. 3–10.)

3.1 802.11g-standardi

802.11g on käytännössä yhdistelmä 802.11a- ja 802.11b-standardeista. 802.11g:stä löytyvät siten molemmat sekä 802.11a:ssa käytetty OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexin) -monikantaaltomodulointi että 802.11b:ssä käytetty CCK-koodaus (Complementary Code Keying). Näin taataan täysi alaspäin yhteensopivuus 802.11b-standardiin ja saadaan teoreettiseksi maksiminopeudeksi 54 Mbps 2,4 GHz:n taajuusalueella.

Kuten muissakin taajuusjakokanavointia käyttävissä standardeissa myös 802.11g-standardissa data jaetaan eri taajuuksilla toimiviin alikanaviin, joita ajetaan rinnakkain. Kanavien välissä ei käytetä varokaistaa (Guard Band), vaan kanavien taajuus valitaan siten, että kunkin kanavan keskitaajuudella muiden kanavien spektri on nolla. Lähetettävä signaali muodostuu eri kanavien käänteisestä Fourier-muunnoksesta (Inverse Fast Fourier Transformation). Vastaanottava osapuoli purkaa auki tämän signaalin ja muodostaa alikanavien tiedoista alkuperäisen bittijonon. 802.11g-standardissa käytetään 13:a kanavaa, jotka ovat leveydeltään 22 MHz. Käytettävä taajuusalue on 2 400–2 485 MHz ja kanavat jaetaan 5 MHz:n välein. Näin saadaan aikaiseksi 802.11b-standardin tavoin kolme ei-päällekkäistä kanavaa. (1, s. 34–44.)

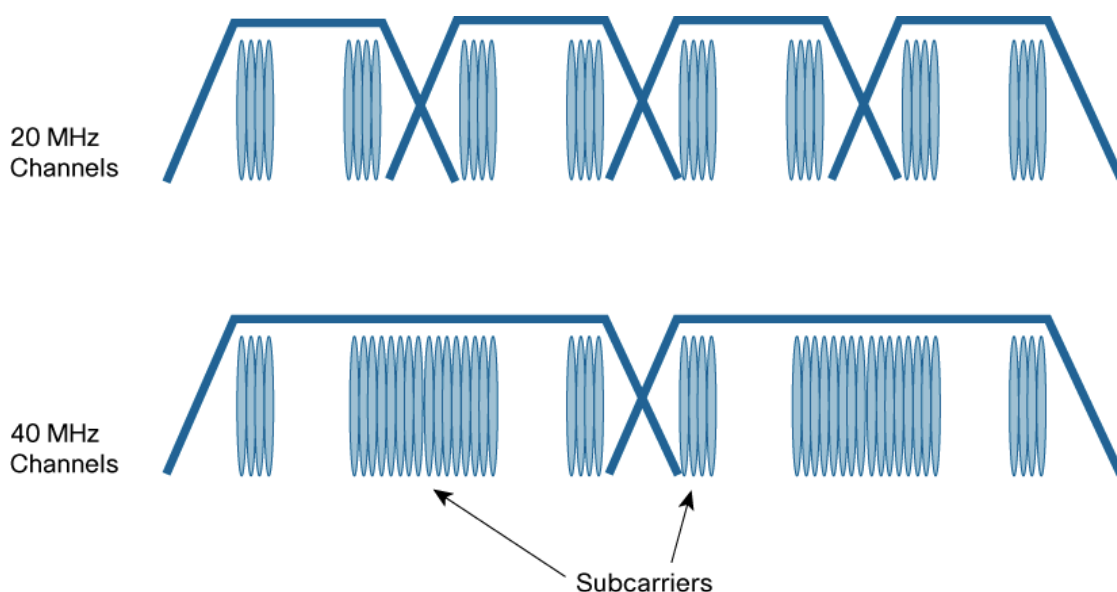
3.2 802.11n-standardi

802.11n-standardi on vuonna 2007 alulle pantu 802.11g- ja 802.11a-standardien seuraaja. N-sarjan laitteille luvataan teoreettiseksi maksiminopeudeksi jopa 600 Mbps käytettäessä uutta MIMO-antennitekniikkaa (Multiple-Input Multiple-output). 802.11n-standardi tuo tullessaan myös muita merkittäviä uudistuksia edeltäjiinsä nähden, muun

muassa MAC-parannukset ja jopa peruskehysrakennetta on muutettu. Tällä tavoin saadaan parempi suorituskyky pienemmällä energiamäärällä.

Huomattavin uudistus on kuitenkin MIMO-antennimalli, jossa käytetään monta lähettävää ja vastaanottavaa antennia. Tällä tavoin pystytään signaalin suuntaa ja lähetystehoa muuttamaan tarvittaessa nopeasti ja tehokkaasti. Näin pystytään käyttämään suurempaa kanavan kokoa, suurempaa modulointinopeutta ja pienempää kehyksen otsikkokenttää.

802.11n-laitteissa myös kanavan leveyttä on muutettu 22 MHz:n sijasta 40 MHz:iin, kuitenkin mahdollistaen alaspäin yhteensopivuuden 22 MHz:n laitteille. Tällä tavalla saadaan yli kaksinkertainen bittinopeus 802.11g- tai 802.11a-standardiin verrattuna. Kuvassa 8 nähdään 20 ja 40 MHz kanavien ero.



Kuva 8. 802.11n kaistanleveys. (2.)

N-sarjan laitteet voivat useasti käyttää molempia 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n kantataajuuksia. Yleensä multimedia tai korkean QoS-prioriteetin (Quality Of Service) omaava data, kuten video lähetykset, lähetetään käyttäen 5 GHz:n taajuusalueita. (2, s. 2–16.)

3.3 Quality Of Service, QoS

QoS tai 802.11e on standardi, jolla pyritään parantamaan reaaliaikaisten sovellusten, kuten VoIP (Voice over IP) tai videovirtojen toimivuutta. Pääperiaate on, että jokaiselle paketille annetaan tärkeysarvo. Näiden annettujen arvojen perusteella paketit lähetetään siirtotielle. QoS ei takaa pakettien perille pääsyä, vaan edesauttaa läpipääsyä.

802.11e sisältää kaksi erilaista mallia, priorisoitu (Prioritized) ja parametreihin perustuva (Parametrized) QoS. Näistä ensimmäinen muistuttaa Ethernet-verkoista tuttua IntServ-standardia ja jälkimmäinen DiffServ-standardia. Parametreihin perustuvassa mallissa ensimmäiseksi luodaan virtuaalinen yhteys (Traffic Stream, TS) lähettävän ja vastaanottavan aseman välille. Samalla asema ilmoittaa QoS-vaatimuksensa. Tukiasema joko hyväksyy tai hylkää vaatimuksen, riippuen resurssien määrästä. Mikäli vaatimus on mahdollista toteuttaa, saa pyytävä asema etuajaoikeuden muihin alempiarvoisiin asemiin nähden. (17, s. 446–448.)

Priorisoidussa mallissa jokaiselle kehykselle annetaan tietty tärkeysarvo (User Priority, UP). Mitä isompi arvo on, sitä todennäköisemmin kehys lähetetään ennen muita. Tärkeysarvoja on kahdeksan, mutta vain neljä niistä on käytössä. Tämän pohjalta rakennettu WMM-sertifikaatti (Wireless Multimedia) on nykyään yleinen näky myös kotitalouksiin suunnatuissa WLAN-laitteissa. WMM käyttää 802.1D-standardista (Ethernet-silta) tuttuja neljää luokkaa pakettien priorisoinnissa:

- WMM-ääni (arvot 7 ja 6) on suurin mahdollinen tärkeys, joka on tarkoitettu VoIP. puheluille.
- WMM-video (arvot 5 ja 4) sallii videon ennen muuta liikennettä.
- WMM Best Effort (arvot 0 ja 3) on liikenteelle, joka ei ole aikasidonnaista.
- WMM-taustalähetys (arvot 2 ja 1) on liikenteelle, jota ei merkitä. (18, s. 262–263.)

3.4 Ryhmälähetys langattomassa verkossa

Koska WLAN-verkot ovat luonteeltaan vikaherkempiä kuin tavalliset Ethernet-verkot, on tämä huomioitava ryhmälähetyssovelluksia käytettäessä. WLAN-standardi ei käsitä

ryhmälähetyspakettien uudelleenlähetystä kerroksella kaksi kuten tavallinen Ethernet. Tämän takia mahdolliset virheenkorjaukset pitää hoitaa ylemmillä OSI-kerroksilla, jos se on mahdollista. Virheenkorjauksen puute vaikeuttaa erityisesti multimedian, kuten videon suoratoistoa, missä jokainen pakettihäviö nähdään suoraan kuvassa. Ongelmaan haetaan yleensä ratkaisua edellä mainitusta WMM-tekniikasta. (19, s. 2–3.)

Vaikka WMM onkin yleinen useissa laitteissa, ovat eri laitevalmistajat kehittäneet erilaisia tekniikoita videon suoratoiston parantamiseksi WLAN-verkoissa. Esimerkiksi Ciscon ratkaisu on muuttaa ryhmälähetyspaketit yksittäislähetyksiksi ennen siirtotielle lähettämistä. Vastaanottava tukiasema muuttaa nämä yksittäislähetykset takaisin ryhmälähetyspaketeiksi ja lähettää nämä edelleen vastaanottajille. Haittapuolena tässä tekniikassa on kasvava viive, koska pakettien prosessointiin tarvitaan enemmän aikaa. Edellä mainittua tekniikkaa tuskin tullaan vielä näkemään kuluttajille suunnatuissa halvemmissä laitteissa, joten näissä tapauksissa voidaan ryhmälähetysten siirtoon vaikuttaa seuraavilla keinoilla:

- nostetaan videota jakavassa verkossa (SSID) miniminopeusluokkaa
- mikäli mahdollista, käytetään 802.11n-laitteita ja eristetään multimedialle oma siirtotie (on myös huomioitava mahdolliset kanavien päällekkäisyydet ja suositeltavaa olisi käyttää 5 GHz taajuusaluetta)
- minimoidaan asemien ja tukiasemien välinen matka. (19, s. 3–4; 20, s. 2–6.)

Langattomien verkkojen suorituskykyyn vaikuttaa myös asemien mahdolliset virransäästöominaisuudet. Mikäli vastaanottava asema käyttää virransäästöä, joudutaan tällöin käyttämään DTIM-ajoitusta (Delivery Traffic Indication Message). Tällöin asema joutuu tarkistamaan tukiaseman puskurissa odottavien viestien määrän. Tämä johtaa siihen, että dataa voidaan lähettää vain DTIM-arvon määräämän ajan välein. DTIM-arvo ilmaistaan majakkasanomien lukumäärässä eikä esimerkiksi ajanmääränä. Yleensä oletusarvona on yksi, jolloin asema tarkistaa puskurin jokaisen majakkasanoman välein. (20, s. 6; 21.)

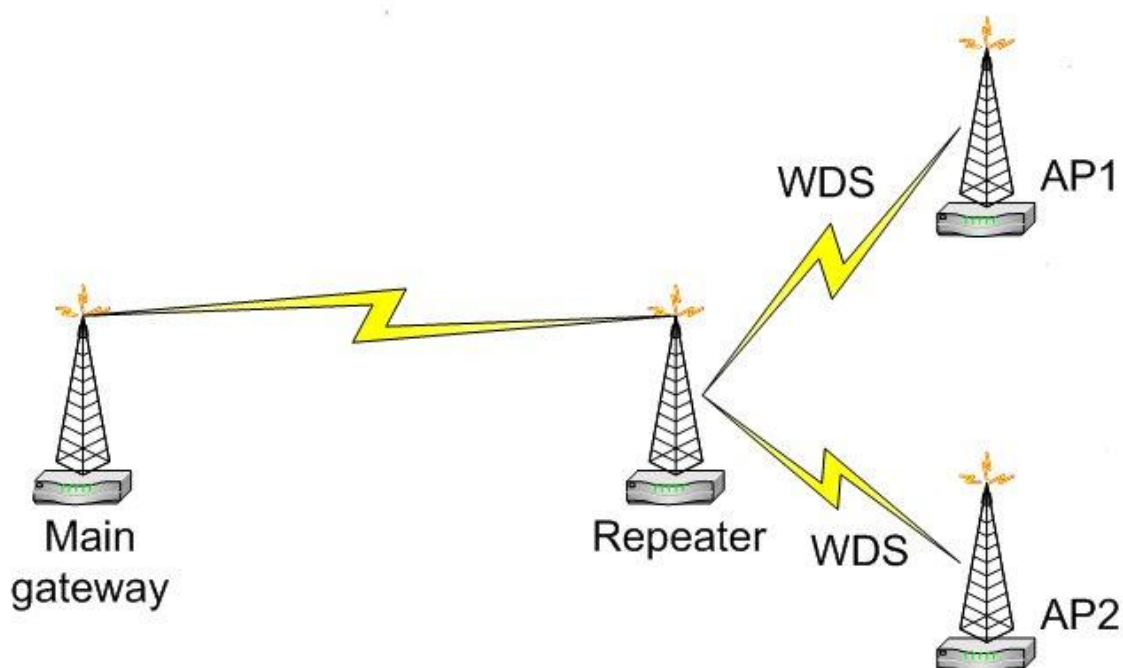
3.5 Wireless Distribution System, WDS

WDS (Wireless Distribution System) on menetelmä, jolla langattomat solut tai BSS-lohkot (Basic Service Set), voidaan laajentaa langattomasti ilman, että tarvitaan

langallista runkoverkkoa laitteiden yhdistämiseen. Näin ollen tekniikka on omiaan kohteissa, joista puuttuu esimerkiksi yleiskaapelointi mutta tarvitaan kattava tietoliikenneverkko.

Tekniikkaa ei ole vielä standardoitu, joten pääsääntöisesti käytettävät laitteet pitää olla samalta valmistajalta tai jopa identtisiä. Jokaisella käytettävällä tukiasemalla pitää olla sama verkon tunniste (SSID), salausmenetelmä ja käytettävä kanava. WDS-tekniikkaa käytettäessä tukiasema voi ottaa itselleen kolme erilaista toimintatilaa. Päätukiasema (Main Base Station) on yleensä yhdistetty kiinteään Ethernet-verkkoon, jonka kautta muut asemat liikennöivät sisäverkosta ulospäin. Päätukiasema myös määrää langattoman verkon nimen (SSID) ja mahdollisen liikenteen salauksen.

Välitysasema (Relay Base Station) välittää datapaketteja muille samassa verkossa oleville langattomille laitteille. Etäasema (Remote Base Station) toimii kuten välitysasema, mutta hyväksyy myös yhteyspyyntöjä langattomilta asiakkailta (Clients). Jotka etäasema lähettää eteenpäin kohti pääasemaa. Kuvassa 9 nähdään WDS-verkon perustoiminta.



Kuva 9. WDS:n toiminta (22).

Huomattavin ero muihin langattomiin siltausmenetelmiin on MAC-osoitteiden määrä. Normaalisti 802.11-kehyksessä on nähtävillä kolme MAC-osoitetta. Kehyksessä oleva ensimmäinen MAC-osoite on aina vastaanottavan aseman osoite, tai jos kyseessä on ryhmälähetys (Multicast) tai yleislähetys (Broadcast) on ensimmäisessä osoitekentässä näiden ryhmien osoite. Toisena tulee aina lähettävän aseman osoite. Kolmannessa osoitekentässä on sen aseman MAC-osoite, jonka kautta viestit kulkevat (yleensä tukiasema). (3, s. 55–74.)

802.11–1999-standardissa on määritetty tuki neljännelle MAC-osoitteelle, joka on tärkeässä osassa WDS-järjestelmissä. Normaaliin kolmen MAC-osoitteen lisäksi kehykseen lisätään neljäs MAC-osoite. Tämä osoite on ensimmäisen siltatukiaseman MAC-osoite. Koska WDS-tekniikkaa käytetään yleensä kahden langallisen verkon yhdistämiseen langattomasti, on 802.11-kehyksessä kaikki neljä tarvittavaa MAC-osoitetta valmiina. Ethernet-kehys pakataan 802.11-kehukseen ja asemien MAC-osoitteet kopioidaan kehyksen otsikkoon. Kehys lähetetään ensimmäiselle tukiasemalle, joka edelleen lähettää kehyksen etäasemalle. Etäasema purkaa kehyksen auki ja

lähettää sen oikealle asemalle Ethernet-kehiksenä. Tällä tavoin liikenne saadaan kulkemaan vaivattomasti langallisen ja langattomien verkkojen välillä. (3. s 55–74; 4.)

WDS-tekniikkaa käyttäessä on kuitenkin huomioitava langattoman verkon suorituskyky. Mikäli verkossa halutaan käyttää langattomia asemia, tiputtaa jokainen asema verkon nopeutta. Tämä johtuu siitä, että paketit joudutaan lähettämään ilmateitse useaan kertaan. (5.)

4 Langattoman verkon tietoturva

Langattomissa verkoissa tietoturvan tarve on suuri, koska siirtotienä toimivat radioaallot eikä perinteinen suljettu sisäkaapelointi. Näin ollen mahdollinen salakuuntelu helpottuu huomattavasti, koska se voidaan suorittaa kauempaa kohteesta huomaamatta. Myös niin sanottu verkon varastaminen on yhä yleisempää, mikäli verkko on suojaamaton. Varsinkin isoissa kiinteistöissä, kuten kerrostaloissa, voi langattomia verkkoja esiintyä kymmenittäin. Tämän vuoksi yhä useampi kuluttajille suunnattu WLAN-laite on jo valmistajan puolesta valmiiksi suojattu.

4.1 Pääsynhallinta

Yleisimmin käytetyt tietoturvaratkaisut ovat pääsynhallinta ja liikenteen salaus, joista jälkimmäinen on eniten käytetty muoto. Pääsynhallinnalla tarkoitetaan tapoja estää ulkopuolisten liittyminen langattomaan verkkoon. Tällaisia menetelmiä ovat WEP-tunnistus (Wired Equivalent Privacy), MAC-osoiterajoitukset ja 802.1x-tunnistus. WEP-tunnistuksessa käytetään esijaettua avainta, joka on pituudeltaan 40 tai 104 bittiä. WEP-tunnistuksen tietoturvasato on erittäin heikko. Salausavain annetaan hex-formaatissa joten avain saadaan murrettua erittäin helposti voimahyökkäysmenetelmällä. Yleisemmin kotitalouksissa käytetyssä MAC-tunnistuksessa (MAC-filter) tukiasemalle määritetään lista työasemien MAC-osoitteista, joilla on lupa päästä verkkoon. Pääsylistää hallinnoidaan manuaalisesti ja jokaisen laitteen MAC-osoite tulee syöttää erikseen. MAC-osoitetunnistus ei anna kunnollista suojaa, koska MAC-osoitetta voidaan muokata ohjelmallisesti ja täten hyökkääjä voi esittäytyä toisena koneena.

802.1x-tunnistusta ei tässä työssä käsitellä, koska menetelmää käytetään yritysverkoissa ja se vaatii erillisen palvelimen. (1, s. 66–77.)

4.2 Liikenteen salaus

Koska langattoman lähiverkon siirtotienä toimivat radioaallot, on liikenne salattava, jotta mahdollinen salakuuntelu olisi mahdotonta. Salausmuotoja on useita, mutta nykyään eniten käytetty on WPA (Wi-fi Protected Access) tai tämän uudempi versio WPA2-salaus. Myös huomattavasti heikompaa salausta WEP (Wired Equivalent Protocol) näkyy vielä käytössä, varsinkin vanhemmissa toteutuksissa. Yritysmailmassa on myös vahvempia VPN-salausmuotoja (Virtual Private Network), mutta tässä työssä niitä ei käsitellä. Työssä tutkittua WDS-tekniikkaa käyttävät laitteet tuovat tietoturvaan oman rajoituksensa, koska tietyt laitteet eivät WDS-siltauksessa tue kuin WEP-salausta. Tätä salausta voidaan pitää nykyään olemattomana, koska nykyaikaiset tietokoneet pystyvät murtamaan salauksen minuuteissa.

Wired Equivalent Protocol, WEP-menetelmän standardoinnin aikoihin käytettiin 40 bitin esijaettua avainta, joka kuitenkin jo tällöin oli vanhahtavaa tekniikkaa. Myöhemmin luotiin tuki myös 104-bittiselle jaetulle avaimelle, mutta nykymittapuussa tämäkin on helposti murrettavissa oleva tekniikka.

WEP-menetelmässä käytetään RC4-jonosalausta, jossa avaimen pituus on oltava yhtä pitkä kuin salattava tavujono. Käytettävää avainta laajennetaan aloitusvektorilla (Initialization Vector), jonka pituus on 24 bittiä. Tästä RC4-avaimesta generoidaan tarvittavan mittainen RC4-avainvuo. WEP-kehykseen lisätään selväkielinen aloitusvektori, jotta vastaanottaja voisi käyttää samaa RC4-avainta.

Kehyksen eheyden turvaamiseksi selväkielisestä tavujonosta lasketaan nelitavuinen ICV-tiiviste (Integrity Check Value), joka lisätään WEP-kehykseen heti salattavan datan perään. Tämän jälkeen salattava data ja avainjono lasketaan yhteen XOR-operaattorilla ja lähetetään WEP-kehyksen rungoksi ja eheystarkistusarvoksi. (1, s. 79–81.)

Temporal Key Integrity Protocol, TKIP luotiin syrjäyttämään vanhentunut WEP-salausmenetelmä, joten TKIP on paranneltu versio WEP-salauksesta. TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) on joukko algoritmeja, joiden avulla jokaiselle kehykselle luodaan oma salausavain ja tarkistetaan kehyksen eheys. Jokaiselle kehykselle lasketaan oma kehyskohtainen salausavain. Tämä saadaan kun 128-bittinen aloitusavain (Temporal Key) yhdistetään työaseman MAC-osoitteen ja kehyksen järjestysnumeron neljään eniten merkitsevään bittiin. Tästä saatu väliaikainen avain yhdistetään järjestysnumeron kahteen alimpaan bittiin. Myös kehyksen IV-kenttä on salattu, joten aloitusvektoreita ei myöskään pystytä salakuuntelemaan.

TKIP-istunnossa salausavaimet vaihdetaan 10 000 kehyksen välein, jotta mahdollisille salakuuntelijoille ei anneta riittävästi lähtödataa salauksen murtamiseksi. TKIP mahdollistaa myös vahvan sanomien eheyden tarkistuksen (MIC, Message Integrity Check). Tällä tavoin mahdolliset kehysten muutosyritykset huomataan. Mikäli kehysten muutosyritys huomataan, pakottaa tukiasema uudelleenautentikoinnin liittyneille asemille ja estää uusien yhteyksien muodostuksen minuutin ajaksi. (3, s. 82–83, 94.)

Tietoturvastandardi 802.11i sai alkunsa vuonna 2004, jonka tarkoituksena oli uudistaa langattomien verkkojen tietoturva kokonaisuudessaan. Standardi pitää sisällään edelliset TKIP:in tuomat parannukset ja suuren määrän uusia parannuksia. Kuluttajille suunnatuissa laitteissa standardinmukainen salausmenetelmä tunnetaan paremmin WPA-AES- tai WPA2-AES-salauksena. AES-salaus (Advanced Encryption Standard) käyttää CCMP-lohkosalausta (Counter Mode Encryption with CBC-MAC Data Origin Authenticity Protocol), jossa käytetään 128:n 192:n tai 256 bitin salausavaimia. Menetelmää käytettäessä pitää laitteissa olla oma salauspiiri, jotta suorituskyky ei romahtaisi.

802.11i-laittepari generoi yhteisestä yleisavaimesta (Master Key) parittaisen yleisavaimen (PMK, Pairwise Master Key). Yleisavaimen ja yksittäisen bittijonon avulla parit muodostavat tilapäisavaimen (PTK, Pairwise Transient Key). Tilapäisavain salataan yleisavaimella ja lähetetään toiselle asemalle, joka laskee tilapäisavaimesta avaintenvaihdon vahvistusavaimen, avaintenvaihdon salausavaimen (Key Exchange Key) ja tilapäisavaimen (Temporar Key). Näistä viimeisintä (TK) avainta käytetään datan salauksessa. (1, s. 83–85.)

5 Moving Pictures Experts Group, MPEG

MPEG-ryhmä (Moving Pictures Experts Group) on luonut laajan MPEG-perheen, joka koostuu MPEG-1-, MPEG-2-, MPEG-4-, MPEG-7- ja MPEG-21-standardeista. Näistä yleisimmin käytetyt ovat MPEG-2- ja MPEG-4-standardit, joita käytetään muun muassa satelliitti-, antenni-, kaapeli- ja IP-televisioissa. (11, s. 66–67.)

5.1 MPEG-2-standardi

Ehkä suosituin videon pakkausmuoto on ollut MPEG-2, jota edelleen käytetään muun muassa digitaalisessa televisiossa. MPEG-2 voidaan jakaa kahteen kategoriaan: videoon ja ääneen.

Koska ihmissilmä ei pysty erottamaan kuin noin 25 kuvaa sekunnissa, on turhaa lähettää enempää kuvia videotiedostossa. Nämä lähetettävät kuvat täytyy pakata, jotta videon bittinopeutta voidaan laskea. Tätä varten jokainen kuva käy läpi pakkausalgoritmin (Compress), jossa kuvista poistetaan niin sanotut turhat bitit. Tämän toimenpiteen jälkeen kuvan pikselit pakataan 8 x 8 alkioihin. Alkiot jaetaan värinsä mukaan kolmeen luokkaan: harmaasävy, punainen tai sininen. Seuraavaksi jokainen alkiot käy läpi DCT-funktion (Discrete Cosine Transform), jossa alkiolle määrätään tietty tärkeys. Näistä vähiten merkittävät alkiot tiputetaan. Tämän jälkeen alkiot kvantisoidaan (Quantization), minkä yhteydessä poistetaan ylimääräiset bitit alkiosta. Tämän avulla myös määrätään pakkaussuhde.

Kun jokainen alkiot on pakattu, tehdään niistä 16 x 16 pikselin kokoisia makrolohkoja (Macroblocks). Mikäli näytettävän kuvan ja sitä edeltäneen kuvan välillä ei ole suurta eroa, voidaan kuvan muutos suorittaa makrolohkoa siirtämällä. Tällöin koko kuvaa ei tarvitse siirtää ja näin ollen säästetään olemassa olevaa kaistaa. MPEG-2 pakkauksessa käytetään kolmea erilaista kuvaa:

- Intra-frames (I-frames) on yksittäinen kuva, jossa ei oteta kantaa edelliseen tai seuraavaan kuvaan.

- Forward predicted frames (P-frames) on ennalta arvattu kuva, joka perustuu edelliseen I-kuvaan. P-kuva ei ole kokonainen kuva, vaan sisältää muuttuneet lohkot.
- Bi-directional predicted frames (B-frames) on P-kuvan kaltainen kuva, mutta sen sisältämät liikevektorit voivat viitata tuleviin kuviin. B-kuvilla saadaan säästettyä tehokkaasti kaistankäyttöä, mutta sen käyttö lisää viivettä videon toistossa.

Näitä kolmea kuvatyyppeä hyväksikäyttäen muodostetaan kuvajono (Group Of Pictures, GOP). Jokainen GOP alkaa I-kuvalla ja koostuu tietyistä määrästä B- ja P-kuvia. Tyypillinen GOP-järjestys on seuraava:

[I B B B P B B B P B B B P B B B P]

GOP:ien koko voi vaihdella, mutta esimerkiksi IPTV-toteutuksissa se on yleensä 12–15 kuvaa. GOP-tyyppejä on kaksi, avoin GOP ja suljettu GOP. Suljetussa vaihtoehdossa viimeisen B-kuvan muodostamiseen ei tarvita seuraavan kuvasarjan I-kuvaa. Avoimessa vaihtoehdossa puolestaan tarvitaan seuraavan kuvasarjan I-kuva. (11, s. 67–70.)

MPEG-2:ssa käytetään profiileja ja tasoja, joille on määrätty tietyt spesifikaatit. Näillä profiileilla ohjataan koodekkia ja dekodekkia:

- Yksinkertainen (Simple) ei sisällä B-kuvaa.
- Tavallista (Main) käytetään kaikkia kolmea kuvamuotoa (yleinen IPTV-sovelluksissa).
- SNR (Signal to noise) -profiilia käytetään tilanteissa, joissa tarvitaan hyvää virheensietokykyä.
- Korkearesoluutioista (HD) käytetään HD-lähetyksissä.

Näiden lisäksi profiileille on asetettu tasot, joilla määritellään kuvakoko, kuvanopeus (fps), bittinopeus ja puskurien suuruus. (11, s. 71.)

MPEG-2-bittinopeudet voidaan jakaa kahteen erilaiseen koodaustapaan: tasaiseen bittinopeuteen (Constant Bit Rate, CBR) ja vaihtuvaan bittinopeuteen (Variable Bit Rate, VBR). CBR-videovirrassa käytettävä bittinopeus on vakio riippumatta videon laadusta tai sen monimuotoisuudesta. Tämän vuoksi se on ihanteellinen laajakaistaverkkoihin suunnatuissa videolähetyksissä. CBR toteutetaan muuttamalla koodekin kvantisointitasoa. VBR-muodossa koodatut kuvat pakataan käyttäen eri bittinopeuksia. Tämän takia monimuotoisempi kuva vaatii suuremman bittinopeuden kuin yksinkertainen kuva. VBR-tekniikka on yleisempi digitaalisessa kaapelitelevisiossa, kun taas CBR-tekniikkaa käytetään enemmän laajakaistasovelluksissa, kuten IPTV:ssä. (11, s. 71–72.)

5.2 MPEG-4-standardi

MPEG-4-standardi on menestyneen MPEG-2-standardin seuraaja. MPEG-4 määrittelee laajan kirjon erilaisia multimedian pakkausmuotoja, joita voidaan käyttää joko yhdessä tai erillään. Standardin osia on yhteensä 22, joista kuitenkin tutuin on numero 10. MPEG-4 Part 10 (H.264 ISO/IEC 14496-10) on tehokas videon pakkausmuoto, jossa yhdistyy hyvä kuvanlaatu ja pieni kaistantarve. Haittapuolena voidaan todeta, että H.264 vaatii laitteilta enemmän suorituskykyä kuin edelliset pakkausmuodot. Tästä huolimatta on H.264 tulossa kovaa vauhtia suosituksi standardiksi varsinkin IPTV-toteutuksissa, koska operaattorit voivat hyödyntää vanhaa jakeluverkkoa. Tämän mahdollistaa H.264-standardin monikäyttöisyys ja laaja siirtotekniikkatuki. Verrattaessa MPEG-2-koodaukseen saadaan H.264-standardia käytettäessä sama kuvanlaatu pienemmällä bittimäärällä. (11, s. 72–76.)

Koodauksessa H.264 on peruseriaatteeltaan samanlainen kuin aikaisemmat MPEG-pakkaukset. Kuvaa muutetaan vain tarvittava määrä, jolloin koko kuvaa ei aina tarvitse lähettää siirtotielle aivan kuten MPEG-2:ssa. Kuten aikaisemmin todettiin MPEG-2 muodostaa makrolohkoja, joita se vertailee keskenään ja ennustaa tulevaa kuvaa. H.264-standardissa ei verrata jokaista makrolohkoa vaan makrolohkosarjoja. Näin ollen verrattavien bittien määrä pienenee huomattavasti. Aikaisemmassa MPEG-2 standardissa makrolohkojen koko rajoitettiin 16 x 16 pikselin lohkon, mutta H.264 pystyy jakamaan lohkot jopa 4 x 4 pikselin osiin. Tällöin lohkojen vertailu voidaan tehdä erittäin tarkasti. (11, s. 76–77.)

Myös kuvien muodostuksessa ja niiden määrässä on tapahtunut muutoksia. Aikaisemmin B-kuvaa muodostettaessa piti vertailla joko edellistä tai seuraavaa kuvaa. H-264-standardissa voidaan verrata muodostettavaa kuvaa mihin tahansa kuvaan. Kaksi uutta kuvatyyppeä on lisätty edeltäjään verratessa: kuvat Switching I (SI) ja Switching P (SP), joita käytetään kun vaihdetaan suoratoistosta toiseen. (11, s. 77–78.)

6 Käytännön testaus

6.1 Työn tausta

Tämän työn tarkoituksena oli löytää kohtuuhintaisten WLAN-laitteiden joukosta laitepari, jolla pystyttäisiin luotettavasti siirtämään videota ryhmälähetystä hyväksikäyttäen. Osa testauksesta suoritettiin yhteistyössä TeliaSoneran kanssa, joka tarjosi testattavat laitteet ja tilat. TeliaSoneran tarkoituksena oli löytää laite, jolla pystyttäisiin siirtämään IPTV-videota huoneistoissa langattomasti. Tämän johdosta niin sanottu alkukarsinta tehtiin käyttäen kyseisen yrityksen KotiTV-tuotetta, jossa yhdistyvät nopea laajakaista ja IPTV-palvelu. Laitteilta vaadittavat ominaisuudet olivat seuraavat:

- Laitteiden yhteishinta ei saisi kuluttajalle nousta yli sadan euron.
- Laitteiden pitäisi pystyä siirtämään vähintään yhtä HD- ja yhtä SD-suoratoistoa samanaikaisesti yhdelle STB:lle (Set Top Box).
- Laitteilla ei tarvitse siirtää muuta liikennettä, koska etsittiin pelkästään videolle tarkoitettua siirtotietä.

Testattavaksi valitut laitteet olivat kappalehinnaltaan 20–70 euroa ja niiden suorituskykyä verrattiin tavalliseen Ethernettiin ja Ruckus Mediaflex laitteisiin. Testattavia laitteita oli kaiken kaikkiaan kuusi, joista jokainen oli 802.11n-standardin mukaisia laitteita. Testattavat laitteet olivat seuraavat:

- Buffalo WLAE-AG300N 2,4/5 GHz:n mediamuunnin
- Contrend WL5538 5 GHz:n mediamuunnin
- Tenda W268r 2,4 GHz:n tukiasema
- A-link RR24AP 2,4 GHz:n ADSL-modeemi/tukiasema
- Netgear WN2000RPT 5 GHz:n mediamuunnin
- Airties 4420-tv 5 GHz:n mediamuunnin.

Näistä laitteista neljälle suoritettiin tarkemmat testaukset, jotka tehtiin pakettigeneraattorilla ja suoratoistamalla videota laitteiden välillä. Testaus olisi ollut parasta suorittaa KotiTV-laitteilla, mutta laitteista ei ole mahdollista saada tarvittavia testaustuloksia. Tämän johdosta oli tärkeää tutkia KotiTV:n toimintaa ja bittivirtojen suuruuksia, jotta testauksissa käytettävät menetelmät vastaisivat mahdollisimman hyvin KotiTV:n tarpeita.

6.2 KotiTV:n tutkiminen ja testaustyökalujen määrittäminen

Tutkimalla KotiTV:ssä kulkevaa pakettivirtaa voitiin määrittää testauksessa tarvittavien bittivirtojen suuruus. Paketteja kaapattiin ilmaisella Wireshark-ohjelmalla, jolla saadaan reaaliaikaisesti siirtotiellä kulkevien pakettien tiedot. Ohjelmasta nähdään hyvin jokaisen suoratoistoryhmän kaistankäyttö ja tämän perusteella voitiin rakentaa testauksessa käytetyt määriykset. Kaappaukset suoritettiin alkutestauksien yhteydessä, jolloin myös eri laitteiden välisiä eroja pystyttiin havaitsemaan.

Ohjelmalla pystytään myös tarkkailemaan pakettihävikkiä vertailemalla pakettien järjestysnumeroita. Aluksi testaukset yritettiin suorittaa käyttäen juurikin tätä ominaisuutta ja KotiTV:lle menevää bittivirtaa kaapattiin siirtotielle sijoitetulla tietokoneella. Ongelmaksi kuitenkin ilmeni kaapattavan tiedon määrä ja se, että testaustilannetta ei pystytä tarkoin toistamaan. Tämän johdosta päädyttiin vain tarkkailemaan bittinopeuksia ja tekemään testaukset hallituilla bittivirroilla.

buffalo2hd.pcap - UDP Multicast Streams

Detected 45 Multicast streams, Average Bw: 3,8 Mbps Max Bw: 47,7 Mbps Max burst: 439 / 100ms Max buffer: 38,0 KB

Dst port	Packets	Packets/s	Avg Bw	Max Bw	Max bursts	Burst alarms	Max buffers	Buffer alarms
[REDACTED]	1	0 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0	0,1 KB	0
[REDACTED]	8587	15 /s	0,0 Mbps	0,1 Mbps	5 / 100ms	0	0,3 KB	0
[REDACTED]	560	1 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0	0,2 KB	0
[REDACTED]	751469	1365 /s	7,0 Mbps	47,0 Mbps	433 / 100ms	329	676824,7 KB	1
[REDACTED]	2948	1430 /s	15,5 Mbps	21,3 Mbps	196 / 100ms	1	2724,7 KB	1
[REDACTED]	231722	755 /s	8,2 Mbps	20,4 Mbps	188 / 100ms	1123	123152,8 KB	1
[REDACTED]	7	0 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0	0,2 KB	0

Select a stream with left mouse button

Burst int: 100 ms Burst alarm: 50 pps Buffer alarm: 10000 Bytes Stream empty speed: 5000 Kbps Total empty speed: 100000 Kbps

Set parameters Prepare Filter Close

Kuva 10. KotiTV:n bittivirtojen suuruus.

Kuvassa 10 olevat bittivirrat kuvastavat siirtotiellä olevaa datavirtaa. Kyseisessä tapauksessa on kanavaa vaihdettu useamman HD-kanavan välillä. Wireshark-ohjelmassa niin sanottu kanavaselailu aiheuttaa sen, että vanhat kanavat jäävät listaan pysyvästi. Kuvasta kuitenkin nähdään HD-kanavien tarvitsema bittinopeus, joka pyörii välillä 8,2–21,3 Mbps. Kuvassa neljäntenä näkyvässä suoratoistossa on kyseessä SD-kanava, vaikkakin bittinopeus liikkuu välillä 7,0–47,0 Mbps. Tämäkin johtuu kaappausohjelmasta ja kyseinen ominaisuus tulee esiin satunnaisesti kanavaa vaihdettaessa.

6.3 Alkutestaus

Ensimmäinen testaus suoritettiin TeliaSoneran tiloissa Helsingissä. Tila oli toimistorakennuksessa, jossa oli testaushetkellä useita samanaikaisia WLAN-yhteyksiä. Tämä huomioon ottaen testaus tapahtui käyttämällä KotiTV-laitteistoa, johon kuuluu Thomson TG789 -palvelureitin ja Motorolan VIP 1963 -tallentava digiboksi. Langattomien laitteiden etäisyys oli noin kymmenen metriä eikä laitteiden välissä ollut esteitä. Testaus suoritettiin katsomalla yhtä HD-kanavaa ja tallentamalla toista HD- tai SD-kanavaa. Testaus tehtiin täysin silmämääräisesti, joten mitään mittaustuloksia ei tässä vaiheessa kerätty. Vertailukohteena käytettiin toista KotiTV-laitteistoa, jossa siirtotienä käytettiin Ruckuksen laitteita. Molemmat laitteistot oli kytketty samaan palvelureitittimeen, jolloin myös mahdollisesti palvelussa tai verkossa tapahtuvat

virheet pystytään havaitsemaan. Televisiot olivat testauspaikassa vierekkäin, joten mahdolliset kuvavirheet pystyttiin havaitsemaan mahdollisimman hyvin. Tarkoitus oli näin kartoittaa, mitkä laitteet valittaisiin seuraaviin tarkempiin testauksiin.

Tallennettava kanava pysyi kaiken aikaa samana ja oli bittivirraltaan suurin (keskiarvoltaan 15,5 Mbps). Testauksen aikana vaihdettiin kanavia useaan otteeseen ja välillä katsottiin myös samanaikaisesti nauhoitettavaa kanavaa. Kanavan vaihdot tehtiin molemmille laitteistoille samanaikaisesti. Tällä tavoin saatiin testattua laitteiden IGMP-sanomien kulkua ja niiden vaikutusta suorituskykyyn. Jokaista laiteparia käytettiin yhtäjaksoisesti noin kaksi tuntia.

Eri laitteilla oli huomattavia eroja suorituskyvyssä. Vaikka monet laitevalmistajat lupasivat laitteilleen jopa kuuden yhtäaikaisen HD-videon suoratoistomahdollisuutta, ei tämä kuitenkaan useammassa tapauksessa toteutunut. Monella laitteella jopa yhden HD-videon toistossa oli ongelmia. Esimerkiksi Tenda W286r toimi aluksi hyvin, mutta pidemmällä aikavälillä sen suorituskyky alkoi heikentyä. Tenda oli testattavista laitteista halvin (noin 20 euroa). Toinen huomattava seikka oli muiden langattomien laitteiden aiheuttamat häiriöt. Esimerkiksi Contrend, joka toimii 5 GHz:n alueella, ei pystynyt siirtämään videota, jos toinen 5 GHz:n laite oli samanaikaisesti päällä.

Vaikka Contrend ja Airties käyttävät saman valmistajan piirisarjaa, oli näiden laitteiden suorituskyvyssä huomattavia eroja. Airties ei pystynyt siirtämään edes SD-kuvaa pätkimättä, minkä takia laitteet hylättiin. Kummatkin laitteet muodostavat automaattisesti yhteyden laitepariinsa, minkä takia laitteiden potentiaali oli hyvä. Toinen alkutestauksessa hylätty laite oli Netgearin valmistama WLAN-toistin. Vaikka tämä suoriutui tehtävästä paremmin kuin Airties, oli laitteen hinta kuitenkin liian korkea eikä näin ollen sopinut kriteereihin.

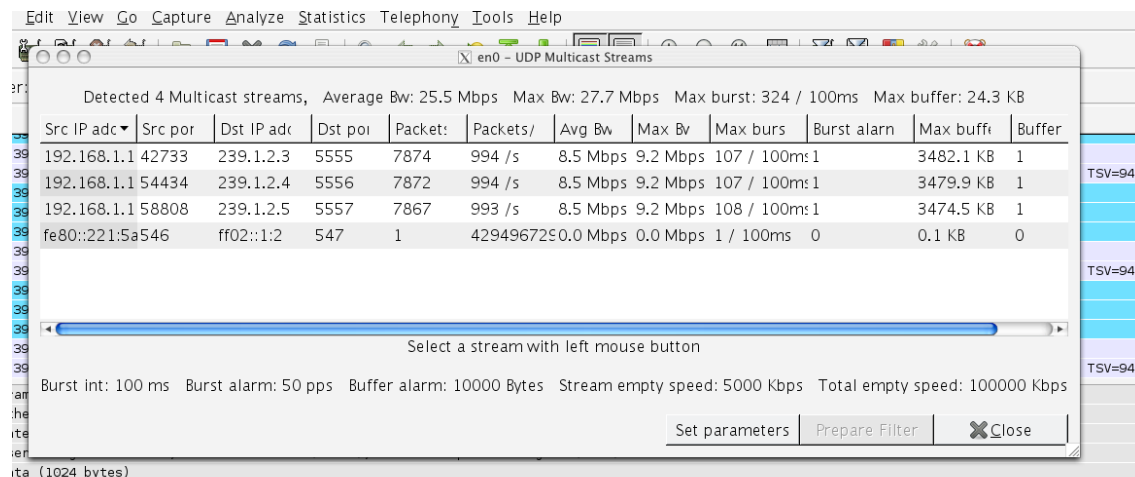
6.4 Testaus pakettigeneraattorilla

Seuraavassa vaiheessa suoritettu testaus tapahtui käyttäen ryhmälähetyspakettigeneraattoria. Tarkoitukseen sopi mainiosti ilmaisjakeluna saatava MGEN-pakettigeneraattori. Testin tarkoituksena oli saada vertailukelpoista tietoa laitteiden pakettihävikistä. Jokaiselle laitteelle tehtiin läpäisykykyä (Troughput)

mittaava testaus kahdella erilaisella testillä. Testauspaikkana toimi kaksikerroksinen huoneisto, josta kerrotaan tarkemmin luvussa 6.5.

Aluksi oli tarkoitus selvittää, pystyvätkö laitteet lähettämään ryhmälähetystenä yhden SD- ja yhden HD-kanavan tarvitseman bittimäärän. Tätä varten siirtotiellä siirrettiin kolmea noin 8,5 Mbps:n kokoista pakettikuvioltaan tasaista bittivirtaa. Testissä dataa lähetettiin yhtäjaksoisesti yhden tunnin ajan, josta vastaanottavalle asemalle kirjattiin saapuneiden pakettien määrä. Ensimmäisissä testeissä huomattiin, että kokonaisen tunnin ajan vastaanotettua lokitiedostoa oli mahdoton käsitellä. Tämän takia vastaanottavalle asemalle tallennettavia lokeja muodostettiin kolme kappaletta jokaisesta bittivirrasta. Koska testissä lähinnä kokeiltiin laitteiden toimivuutta ajan funktiona, oli riittävää ottaa koetulokset tietyistä ajankohdista.

Heti lähetysten alkaessa oli ensimmäinen koeajanjakso, jonka kesto oli viisi minuuttia. Seuraava ajanjakso oli lähetysten puolivälissä, jolloin myös tallennettiin viisi minuuttia lähetystä. Kolmas ja viimeinen ajanjakso oli lähetysten viisi viimeistä minuuttia. Näillä mittauksilla saatiin hyvä kuva laitteiden toimivuudesta usealla bittivirralla ja pitemmällä aikavälillä. Aikajaksoa olisi voinut pidentää esimerkiksi kaksinkertaiseksi, mutta tunnin ajanjaksolla saadut tulokset olivat mielestäni riittävät.



Kuva 11. Wireshark-kaappaus MGEN-suoratoistoista.

Kuvasta 11 nähdään jokaisen ryhmälähetys datavirran keskimääräinen ja maksimi bittinopeus. Tässä testissä bittivirrat olivat tasaisia ja näin ollen useimmat laitteet suoriutuivat testistä kohtalaisesti.

Videota siirrettäessä on otettava huomioon siirrettävän datavirran monimuotoisuus. Koska video bittivirta saattaa vaihdella huomattavasti, tehtiin testi käyttäen myös enemmän videovirtaa muistuttavalla pakettikuvioilla. Mgen-pakettigeneraattorilla pystytään luomaan vaihtelevalla bittinopeudella (Burst) olevaa pakettikuvioita. Kuten kuvasta 12 nähdään, testeissä käytetty kuvio oli keskiarvollisesti 14,5 Mbps, maksimi- ja minimiarvojen ollessa välillä 8,0–43,7 Mbps.

Detected 13 Multicast streams, Average Bw: 28,9 Mbps Max Bw: 64,0 Mbps Max burst: 751 / 100ms Max buffer: 50,0 KB

Src IP addr	Src port	Dst IP addr	Dst port	Packets	Packets/s	Avg Bw	Max Bw	Max bursts	Burst alarm
192.168.2.1	49424	239.1.2.3	5555	208413	1719 /s	14,7 Mbps	28,1 Mbps	330 / 100ms	18
192.168.2.1	48337	239.1.2.4	5556	207539	1694 /s	14,4 Mbps	43,7 Mbps	513 / 100ms	21
192.168.2.103	54049	224.0.0.252	5355	2	18 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0
192.168.2.103	58549	224.0.0.252	5355	2	18 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0
192.168.2.103	50282	224.0.0.252	5355	2	17 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0
192.168.2.103	63350	224.0.0.252	5355	2	16 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0
192.168.2.103	56848	224.0.0.252	5355	2	18 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0

Select a stream with left mouse button

Burst int: 100 ms Burst alarm: 50 pps Buffer alarm: 10000 Bytes Stream empty speed: 5000 Kbps Total empty speed: 100000 Kbps

Buttons: Set parameters, Prepare Filter, Close

Kuva 12. Muuttuvakuioiset bittivirrat.

6.5 Testaus videon suoratoistolla

Toisena testausmenetelmänä käytettiin kahden videotiedoston suoratoistoa samanaikaisesti langattoman linkin kautta. Testaus tapahtui käyttäen ilmaisjakeluna saatavaa VLC-ohjelmaa, joka on samalla mediapalvelin ja median toistoon tarkoitettu ohjelma. Suoratoistettaessa videoita saatiin ohjelmasta tippuneiden kuvien ja pakettien määrä.

The screenshot shows the 'Mediatiedot' application window with the 'Tilastot' (Statistics) tab selected. The window displays 'Current media / stream statistics' for audio and video streams. The statistics are as follows:

Category	Sub-category	Value
Ääni (Audio)	Decoded	180111 blocks
	Played	180111 buffers
	Lost	20 buffers
Video	Decoded	138172 blocks
	Displayed	138200 frames
	Lost	25 frames
Input/Read	Media data size	195066 KiB
	Bittinopeus	939 kb/s
	Demuxed data size	71126 KiB
	Content bitrate	839 kb/s
	Discarded (corrupted)	0
	Dropped (discontinued)	0
Output/Written/Sent	Sent	0 packets
	Sent	0 KiB
	Upstream rate	0 kb/s

Kuva 13. Ruckus MediaFlex-laitteiden tulokset.

Kuvassa 13 näkyvät vertailulaitteena toimineen Ruckus MediaFlex -laiteparin testaustulokset. Testauksessa käytetyt videotiedostot olivat tarkkuuksiltaan 1920 x 1080 (1080p) ja 1280 x 528 (720p) käyttäen H.264-pakkausta. Testaustilana toimi kaksikerroksinen huoneisto, jossa lähettävän ja vastaanottavan laitteen etäisyys oli noin kymmenen metriä. Laitteet sijaitsivat eri kerroksissa, ja välissä oli kivinen välipohja. Testauslaitteisto koostui lähettävästä Ubuntu 10.10 -palvelimesta ja vastaanottavasta Windows 7-kannettavasta tietokoneesta. Palvelimena toiminut kone oli varustettu 64-bittisellä suorittimella ja kahdeksan gigatavun muistilla. Vastaanottava tietokone oli varustettu 64-bittisellä tuplaydinprosessorilla ja neljän gigatavun muistilla.

Testaustilassa oli havaittavissa naapurihuoneistojen WLAN-verkkoja, joita oli yhteensä kuusi kappaletta. Näistä jokainen toimi 2,4 GHz:n alueella, mutta havaittavaa haittaa

verkoista ei ollut. Ympäristöä myös tarkasteltiin Kismet-nimisellä WLAN-analysaattorilla, jolla pystyttiin tarkastelemaan päällekkäisten kanavien vaikutusta.

Detected 4 Multicast streams, Average Bw: 1,1 Mbps Max Bw: 50,5 Mbps Max burst: 465 / 100ms Max buffer: 38,3 KB

Src IP addr	Src port	Dst IP addr	Dst port	Packets	Packets/s	Avg Bw	Max Bw	Max bursts	Burst alarms
192.168.2.1	45144	239.1.1.1	5555	329543	697 /s	7,6 Mbps	47,5 Mbps	437 / 100ms	685
192.168.2.1	46114	239.1.1.2	5555	113959	241 /s	2,6 Mbps	10,6 Mbps	98 / 100ms	73
192.168.2.103	62184	224.0.0.252	5355	2	20 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0
192.168.2.103	64732	224.0.0.252	5355	2	19 /s	0,0 Mbps	0,0 Mbps	1 / 100ms	0

Select a stream with left mouse button

Burst int: 100 ms Burst alarm: 50 pps Buffer alarm: 10000 Bytes Stream empty speed: 5000 Kbps Total empty speed: 100000 Kbps

Set parameters Prepare Filter Close

Kuva 14. Suoratoistossa käytettyjen videoiden bittivirrat.

6.6 Testaustulokset

Kuten edellä mainittiin, oli testaus kolmeosainen. Ensimmäisissä alkutestauksista ei testaustuloksia saatu, vaan testaus tehtiin silmämääräisesti. Toisesta ja kolmannesta testauksesta saatiin tarkkaa tietoa eri laitteiden suorituskyvystä ja näiden tuloksien pohjalta pystyttiin tekemään erilaisia johtopäätöksiä. Kaikkien laitteiden tuloksia verrattiin langallisen verkon tuloksiin ja vertailulaitteena olevan Ruckus MediaFlex-laitteiden tuloksiin. Ethernet-nopeus oli testilaitteistossa 100 Mbps, ja laitteiden välissä käytettiin kytkintä. Verkko oli suljettu lähettäjän ja vastaanottajan välinen verkko, jossa osoitteet jaettiin lähettävältä asemalta DHCP:n avulla.

Ruckus MediaFlex -laitteet ovat erityisesti multimedian siirtoon tarkoitettuja langattomia sovitinlaitteita. Laitteet toimivat 5 GHz:n taajuusalueella ja käyttävät valmistajan patentoimaa BeamFlex ja SmartCast -teknologioita. Laittepari koostuu tukiasemasta (AP) ja langattomasta sovitimesta (Client). Laitteissa on käytössä valmistajan patentoima kuusikanavainen MIMO-antennijärjestelmä, jolla voidaan tuottaa jopa 63 erilaista antennikuviota. Valmistaja ilmoittaa laitteen pystyvän

siirtämään jopa kuusi HD-videota samanaikaisesti, ja laitteiden hinta Suomessa on noin 200 euroa. (23.)

6.6.1 Pakettigeneraattoritestauksen tulokset

Pakettigeneraattorista saadut tulokset kertoivat pudonneiden pakettien määrän kappalemääräisesti ja prosentuaalisesti. Testi osoitti laitteiden välillä olevan suuria eroja. Karkeasti luokiteltuna halvemmat ja 2,4 GHz:n taajuusalueita käyttävät laitteet suoriutuivat huonoiten. Langallisen Ethernetin pakettihävikki oli 0,24 prosenttia lähetettäessä kolmea yhtä aikaista datavirtaa. Ruckus suoriutui samasta testistä 0,002 prosentin pakettihävikillä. Ruckuksen tuloksia tarkasteltaessa huomattiin laitteen puskuroivan dataa enemmän kuin muut laitteet. Kokonaisuudessa testissä lähetettiin 3 600 001 pakettia, mutta Ruckus vastaanotti näistä vain 3 599 460 pakettia. Testissä käytettävä aika oli jokaiselle laitteelle sama eli 60 minuuttia.

Testistä huonoiten suoriutuivat A-linkin laitteet, jotka eivät käytännössä pystyneet ylläpitämään yhteyttä lainkaan hukkaprosentin ollessa 97,9 prosenttia. Toiseksi huonoiten testissä menestyi Tendan laitepari hukkaprosentilla 18,6. Tendan laitteilla huomattiin yhteyden olevan aluksi vakaa, mutta jo toisessa testauspisteessä pakettihävikki oli huomattava. Parhaiten menestyivät Contrendin laitteet, pakettihävikin ollessa 0,14, Buffalon tullessa hieman perässä 0,52 prosentilla. Täydelliset mittaustulokset löytyvät taulukkona liitteestä yksi.

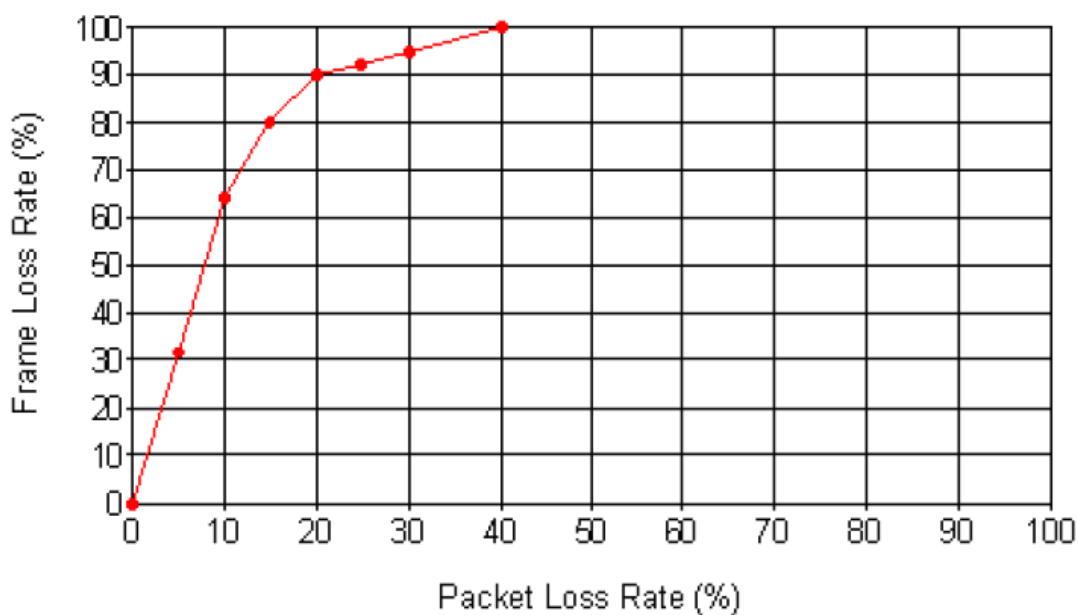
Pakettikuviota muutettaessa monimuotoisemmaksi laitteiden sijoitukset olivat samat. Ethernetin pakettihävikki oli 0,046 ja Ruckusen 0,087 prosenttia. Huonoiten suoriutuivat 2,4 GHz:n laitteet, A-linkin jäädessä taas viimeiseksi prosentein 99,7. Tenda suoritusprosentti oli 18,8. 5 GHz:n laitteista voiton vei Contrend, jolla pakettihävikki oli 0, peitoten myös vertailulaitteet. Seuraavaksi, hieman Ruckusta huonommin menestyi Buffalon laitteet 0,1 prosentilla. Täydelliset testitulokset löytyvät liitteestä kaksi.

Taulukko 2. Laitteiden keskiarvoinen pakettihäviö.

Pakettihäviö keskiarvallisesti		
	Tasainen pakettikuvio	Muuttuvakuviainen pakettikuvio
Ethernet	0,230 %	0,046 %
Ruckus	0,002 %	0,080 %
Buffalo	0,516 %	0,090 %
Contrend	0,144 %	0,000 %
A-link	97,880 %	99,700 %
Tenda	18,580 %	18,800 %

Taulukossa on esitetty jokaisen laitteen keskiarvoinen pakettihäviö prosentteina eri testeissä. Videossa pakettihäviö ei saisi olla yli yhtä prosenttia, sillä jo viiden prosentin siirtotiellä tapahtuva häviö tarkoittaa 30 prosentin pakettihäviötä videokuvassa (24, s. 2–4). Kuvan 15 kuvaajasta nähdään siirtotien pakettihäviö verrattuna kuvanpakettihäviöön.

MPEG - Packet vs Frame Loss Rates



Kuva 15. Pakettihäviön suhde kuvahäviöön (24).

6.6.2 Videon suoratoiston tulokset

VLC-ohjelmasta saatavien parametrien perusteella voitiin kunkin laitteen suorituskykyä vertailla. Ohjelmasta saatiin pudonneiden kuvien, näytettyjen kuvien ja siirtotiellä kadonneiden pakettien lukumäärä. Näistä tiedoista tärkein oli viimeiseksi mainittu. Kun verrataan tuloksia pakettigeneraattorilla suoritettun testin tuloksiin, tukevat nämä toinen toisiaan. Laitteet suoriutuivat odotetulla tavalla ja paremmuusjärjestyskin pysyi samana. Parhaiten suoriutui odotetusti Contrend ja huonoiten A-link. Näiden kahden laitteen välinen ero oli huomattava. A-linkin pudonneiden pakettien määrä kohosi 13939:een, ja kuvien määrästä voidaan todeta, että vain murto-osa kuvista saatiin purettua.

Kuten liitteessä kolme olevasta taulukosta voidaan todeta, Ruckukselle tehdyssä testissä SD-videon hävinneiden kuvien määrä oli yllättävän suuri. Tämä johtui vastaanottavan koneen heikosta suorituskyvystä, ei siis siirtotiellä tapahtuneesta pakettihävikistä, kuten I/O-kohdassa nähtävästä tuloksesta voidaan todeta. Mitä pienempi I/O-arvo, sitä pienempi on pakettihäviö.

7 Johtopäätökset

Tuloksia tutkimalla voidaan tehdä johtopäätökset laitteiden toimivuudesta. Karkeasti voidaan sanoa, että normaalit 2,4 GHz:n tukiasemat eivät pysty luotettavasti siirtämään HD-videota. Tukiasemien ominaisuuksiin perehtymällä ja oikeiden asetusten avulla voidaan kuitenkin parantaa ryhmälähetysviestien kulkua langattomien asemien välillä. Huomattavia eroja suorituskykyyn saadaan, kun poistetaan mahdolliset virransäästöt ja konfiguroidaan QoS-parametrit oikein. Testissä olleilla 2,4 GHz:n laitteilla oli ominaista, että pidemmän ajan kuluessa pakettien tippumista alkoi esiintyä enemmän. On myös huomioitava, että testissä olleet laitteet käyttivät WDS-tekniikkaa, mutta eivät pystyneet itse neuvottelemaan vapaista kanavista. Tämä vaikeuttaa käyttöönottoa ja mahdollisten ympäristövaikutusten ehkäisyä.

Testeissä käytetyt 5 GHz:n laitteet olivat jo huomattavasti luotettavampia, mutta myös hinnaltaan kalliimpia. Nämä laitteet olivat profiloitu multimedian siirtoon ja olivat tyypiltään mediamuuntimia. Contrendin tapauksessa käyttöönotto oli erittäin helppoa, koska laitteet löytävät toisensa ilman mitään erillistä konfigurointia. Tämän johdosta

laittepari olisi omiaan muun muassa KotiTV:n mukana sen helpon käytön takia. Mutta ongelmana huomattiin testejä tehdessä, että vapaiden kanavien automaattista vaihtoa laite ei pystynyt tekemään. Tämä huomattiin, kun käytettiin Ruckus MediaFlex -laitetta samaan aikaan, jolloin Ruckus valtasi kanavat. Heti kun Ruckus sammutettiin, alkoi Contrend myös toimia. Samaa kokeiltiin myös 5 GHz:n taajuusalueella toimivilla Buffalon N-fiti-laitteilla, joilla ongelmaa ei havaittu. Vaikkakin Suomessa käytetyt WLAN-laitteet ovat pääasiassa 2,4 GHz:n laitteita, voi 5 GHz:n alueella silti syntyä päällekkäisyyksiä. Tällöin automaattinen kanavienvaihto on laitteessa oltava.

Vaikkakin Buffalon laitepari suoriutui testeissä huonommin kuin Contrendin laitepari, ovat silti KotiTV:llä tehdyt testaukset osoittaneet Buffalon selviytyvän paremmin käytännössä. Buffalon suorituskyky riittää siirtämään jopa kahta HD-lähetystä samanaikaisesti yhdelle vastaanottajalle, mikä on enemmän kuin työlle asetetut kriteerit vaativat. Tämän johdosta on työn tekohetkellä käynnistetty pilottitestaus, jossa 25 Buffalon laiteparia lähetettiin pilottiryhmälle. Ryhmän tehtävänä on testata käytännössä laitteita KotiTV-palvelua hyväksi käyttäen.

Työssä tehtyjen mittausten ja käytännön kokeilujen perusteella voidaan todeta, että halvemmankin hintaluokan laitteita on mahdollista hyödyntää nykyajan multimediasovelluksissa kunhan korkeaprioriteetiselle liikenteelle, kuten videolle, varataan oma siirtotie. Testissäkin mukana olleissa laitteissa käytetty WDS-tekniikka tullaan varmasti tulevaisuudessa standardoimaan, jolloin on odotettavissa parempia ja tehokkaampia laiteratkaisuja. Myös jo vireillä oleva IEEE:n tutkimustyö WDS:n monikanavamalleista luultavasti edes auttaa uusien laitteiden kehitystä. Tällä monikanavamallilla voidaan luultavasti parantaa WDS:n moniasematukea ja parantaa näin ollen myös siirtonopeuksia.

Tällä hetkellä Suomessa tarjottavien IPTV-palveluiden määrä on pieni ja asiakkaalle tarjotaan vain yhtä IPTV-digiboksia. Mutta tulevaisuudessa IPTV-palveluiden määrä tulee kasvamaan ja asiakkaiden koko kiinteistön TV-palvelut siirtyvät IPTV-puolelle. Tällöin perinteisen Ethernet-johdotuksen lisäksi on pyrittävä tarjoamaan erilaisia vaihtoehtoja datasiirtoon.

Lähteet

- 1 Puska, Matti. Langattomat lähiverkot. Helsinki: Talentum 2005.
- 2 802.11n: The Standard Revealed. (WWW-dokumentti.)
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns340/ns394/ns348/ns767/white_paper_c11-427843_v1.pdf. Luettu 7.2.2011.
- 3 Ansi/IEEE Std 802.11, 1999 edition. (WWW-dokumentti.)
<http://pdos.csail.mit.edu/decouto/papers/802.11.pdf>. Luettu 13.2.2011.
- 4 Wireless frames Vs. Ethernet frames. (WWW-dokumentti.)
<http://www.proprofs.com/forums/blog/redwarrior/index.php?showentry=651>. Luettu 13.2.2011.
- 5 ORiNOCO Technical Bulletin 046/ A: WDS. (WWW-dokumentti.)
<http://www.proxim.com/support/techbulletins/TB-046.pdf>. Luettu 13.2.2011.
- 6 Williamson, Beau. Developing IP multicast networks. Indianapolis: Cisco Press 2000.
- 7 Daniel, Minoli. IP Multicast with Applications to IPTV and Mobile DVB-H. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc 2008.
- 8 Puska, Matti. Voice Over IP Luentomateriaali. (PDF-dokumentti). Luettu 5.3.2011.
- 9 Internet Group Management Protocol. (WWW-dokumentti.)
http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Group_Management_Protocol. Luettu 9.3.2011.
- 10 Technical tutorial on the IEEE 802.11 protocol. (PDF-dokumentti.) http://sssmag.com/pdf/802_11tut.pdf. Luettu 9.3.2011.
- 11 O'Driscoll & Gerard. Next Generation IPTV Services and Technologies. Irlanti: Wiley 2008.
- 12 Dean, Tamara. Network+ Guide to Networks. USA: Course Technology 2010.
- 13 Hidden node problem. (WWW-dokumentti.)
http://en.wikipedia.org/wiki/Hidden_node_problem. Luettu 18.3.2011.
- 14 Sobrinho, Haan & Brázio. Why RTS-CTS is not your ideal wireless LAN multiple access protocol. (PDF-dokumentti.)
http://wwwhome.math.utwente.nl/~haanr/Data/paper_WCNC05.pdf. Luettu 28.3.2011.
- 15 IGMP Snooping. (PDF-dokumentti.)
<http://www.daxnetworks.com/Technology/TechDost/TD-101205.pdf>. Luettu 19.3.2011.

- 16 Understanding IGMP Snooping. (PDF-dokumentti.)
http://www.dell.com/downloads/global/products/pwcnt/en/app_note_18.pdf.
Luettu 19.3.2011
- 17 Lee, Byeong Gi, Sunghyun & Choi. Broadband Wireless Access and Local Networks: Mobile WiMAX and WiFi. Artech House 2008.
- 18 Coleman & Westcott. CWNA Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide: Exam PW=-104. Indiana: Wiley Publishing Inc 2009.
- 19 Deploying IP Multicast Video over 802.11 Wireless Networks. (PDF-dokumentti.)
http://atlantic.com/pdf/Video_over_WiFi.pdf. Luettu 26.3.2011.
- 20 Optimizing Enterprise Video Over Wireless LAN. (PDF-dokumentti.)
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps6302/ps8322/ps10315/ps10325/white_paper_c11-577721.pdf. Luettu 26.3.2011.
- 21 Understanding DTIM Period. (WWW-dokumentti.)
<http://www.juniper.net/techpubs/software/junos-security/junos-security10.0/junos-security-swconfig-wlan/wlan-ax411-access-point-dtim-period-understanding.html>. Luettu 26.3.2011.
- 22 Wireless Repeater. (WWW-dokumentti.)
http://wiki.mikrotik.com/wiki/Wireless_repeater. Luettu 26.3.2011.
- 23 Ruckus MediaFlex 7000 series. (WWW-dokumentti.)
<http://www.ruckuswireless.com/products/mediaflex-home-products/7000-series>. Luettu 27.3.2011.
- 24 Managing IPTV Performance. (PDF-dokumentti.)
http://www.telchemy.com/appnotes/Managing_IPTV_Service_Quality.pdf.
Luettu 3.4.2011.

Pakettigeneraattoritestaus vakiobittinopeudella**Ethernet**

		Testi 1				Testi 2			
		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%	Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%
Stream1	Part 1	299127	298002	1125	0,38	303804	303804	0	0,00
	Part 2	299886	298379	1507	0,50	304894	304645	249	0,08
	Part 3	299883	298406	1477	0,49	291003	290969	34	0,01
Stream2	Part 1	299127	298052	1075	0,36	303804	303343	461	0,15
	Part 2	299894	298542	1352	0,45	304894	304895	0	0,00
	Part 3	299884	298505	1379	0,46	291001	290852	149	0,05
Stream3	Part 1	299127	298104	1023	0,34	303806	303806	0	0,00
	Part 2	299886	298732	1154	0,38	304895	304748	147	0,05
	Part 3	299886	298524	1362	0,45	290998	290859	139	0,05

Ruckus

		Testi 1				Testi 2			
		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%	Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%
Stream1	Part 1	299368	299368	0	0	301339	301339	0	0
	Part 2	299894	299895	0	0	303861	303820	41	0,01
	Part 3	299894	299895	0	0	288410	288411	0	0
Stream2	Part 1	299371	299371	0	0	301341	301341	0	0
	Part 2	299894	299895	0	0	303857	303819	38	0,01
	Part 3	299894	299895	0	0	288407	288408	0	0
Stream3	Part 1	299374	299374	0	0	301344	301344	0	0
	Part 2	299894	299895	0	0	303861	303824	37	0,01
	Part 3	299894	299895	0	0	288411	288412	0	0

Buffalo

		Testi 1				Testi 2			
		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%	Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%
Stream1	Part 1	304147	301309	2838	0,93	304271	304271	0	0
	Part 2	304840	302317	2523	0,83	304771	302750	2021	0,66
	Part 3	290614	290615	0	0	290529	290530	0	0
Stream2	Part 1	304136	299401	4735	1,56	304271	304271	0	0
	Part 2	304783	300440	4343	1,42	304853	303860	993	0,33
	Part 3	290610	290611	0	0	290525	290526	0	0
Stream3	Part 1	304147	299433	4714	1,55	304277	304277	0	0
	Part 2	304472	300451	4021	1,32	304848	302757	2091	0,69
	Part 3	290608	290609	0	0	290526	290527	0	0

Contrend

		Testi 1				Testi 2			
		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%	Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%
Stream1	Part 1	304365	304342	23	0,01	304383	297253	7130	2,34
	Part 2	304894	304895	0	0	304894	304867	27	0,01
	Part 3	290458	290459	0	0	290408	290409	0	0
Stream2	Part 1	304366	304366	0	0	304380	304379	1	0
	Part 2	304893	304674	219	0,07	304894	304647	247	0,08
	Part 3	290462	290463	0	0	290410	290411	0	0
Stream3	Part 1	304350	304350	0	0	304388	304388	0	0
	Part 2	304894	304895	0	0	304894	304853	41	0,01
	Part 3	290455	290456	0	0	290412	290211	201	0,07

A-link

		Testi 1				Testi 2			
		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%	Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%
Stream1	Part 1	300215	18357	281858	93,9			0	0
	Part 2	305207	8120	297087	97,3			0	0
	Part 3	100	0	100	100			0	0
Stream2	Part 1	100	0	100	100			0	0
	Part 2	100	0	100	100			0	0
	Part 3	100	0	100	100			0	0
Stream3	Part 1	300215	16432	283783	94,5			0	0
	Part 2	305205	7250	297955	97,6			0	0
	Part 3	293365	7091	286274	97,6			0	0

Tenda

		Testi 1				Testi 2			
		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%	Lähetetty	Saapunut	Hävikki	%
Stream1	Part 1	18109	16423	1686	9,31	300203	300203	0	0
	Part 2	301610	156537	145073	48,1	304852	274399	30453	9,99
	Part 3	130897	130869	28	0,02	294886	254070	40816	13,8
Stream2	Part 1	26396	24384	2012	7,62	300205	300205	0	0
	Part 2	301607	154998	146609	48,6	304851	274643	30208	9,91
	Part 3	130896	130793	103	0,08	294884	254529	40355	13,7
Stream3	Part 1	100	0	100	100	300210	300209	1	0
	Part 2	301626	153620	148006	49,1	304851	273813	31038	10,2
	Part 3	130894	130895	0	0	294881	253211	41670	14,1

Pakettigeneraattoritestaus muuttuvalla bittinopeudella

Ethernet

		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	Hävikki %
Stream1	Part 1	527982	527912	70	0,01325803
	Part 2	520113	519888	225	0,04325983
	Part 3	481287	481288	0	0

Stream2	Part 1	525514	525230	284	0,05404233
	Part 2	543011	542113	898	0,16537418
	Part 3	499237	499238	0	0

Contrend

		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	Hävikki %
Stream1	Part 1	479835	479835	0	0
	Part 2	546188	546189	0	0
	Part 3	518489	518490	0	0

Stream2	Part 1	478672	478672	0	0
	Part 2	536595	536596	0	0
	Part 3	499378	499379	0	0

Ruckus

		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	Hävikki %
Stream1	Part 1	500144	499539	605	0,12096516
	Part 2	520723	520724	0	0
	Part 3	532958	532784	174	0,03264798

Stream2	Part 1	531294	531040	254	0,04780781
	Part 2	526661	525999	662	0,12569755
	Part 3	501369	500390	979	0,19526536

A-link

		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	Hävikki %
Stream1	Part 1	100	0	100	100
	Part 2	100	0	100	100
	Part 3	100	0	100	100

Stream2	Part 1	100	0	100	100
	Part 2	100	0	100	100
	Part 3	496126	9426	486700	98,1000794

Buffalo

		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	Hävikki %
Stream1	Part 1	518337	518337	0	0
	Part 2	513955	513273	682	0,13269644
	Part 3	504914	504055	859	0,17012798

Stream2	Part 1	487108	487108	0	0
	Part 2	553490	552809	681	0,12303745
	Part 3	510470	509609	861	0,16866809

Tenda

		Lähetetty	Saapunut	Hävikki	Hävikki %
Stream1	Part 1	472941	419994	52947	11,1952654
	Part 2	507415	395312	112103	22,0929614
	Part 3	534849	409716	125133	23,3959491

Stream2	Part 1	511544	457479	54065	10,5689833
	Part 2	521342	409619	111723	21,4298867
	Part 3	514827	389411	125416	24,3608047

Videonsuoratoisto testaus**Ethernet**

		HD	SD
Video	Decoded	135064	135221
	Displayed	135979	135212
	Lost	70	12

Audio	Decoded	176208	264358
	Displayed	176208	264358
	Lost	11	13

I/O	Discarded	0	0
------------	-----------	---	---

Ruckus

		HD	SD
Video	Decoded	138172	127520
	Displayed	138200	190523
	Lost	25	11069

Audio	Decoded	180111	187025
	Displayed	180111	187025
	Lost	20	19

I/O	Discarded	0	1
------------	-----------	---	---

Buffalo

		HD	SD
Video	Decoded	135554	136371
	Displayed	140025	136625
	Lost	136	49

Audio	Decoded	177926	266691
	Displayed	177926	266691
	Lost	2	0

I/O	Discarded	284	247
------------	-----------	-----	-----

Contrend

		HD	SD
Video	Decoded	137919	147197
	Displayed	139184	147137
	Lost	97	73

Audio	Decoded	180086	287772
	Displayed	180086	287772
	Lost	10	13

I/O	Discarded	2	1
------------	-----------	---	---

Tenda

		HD	SD
Video	Decoded	135554	135905
	Displayed	140514	139774
	Lost	161	110

Audio	Decoded	177112	265712
	Displayed	176812	265433
	Lost	410	497

I/O	Discarded	510	743
------------	-----------	-----	-----

A-link

		HD	SD
Video	Decoded	34403	38129
	Displayed	270089	472847
	Lost	1069	730

Audio	Decoded	34461	71464
	Displayed	34448	71451
	Lost	348	487

I/O	Discarded	10329	13939
------------	-----------	-------	-------