

Toni Lehtimäki

Langaton reaaliaikainen videostriimaus videokamerasta
LTE-, 3G- ja WLAN-verkon yli

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Toni Lehtimäki Langaton reaaliaikainen videostriimaus videokamerasta LTE-, 3G- ja WLAN -verkon yli 44 sivua + 2 liitettä 22.5.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoliikennetekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Jouko Kurki
<p>Insinööriyössä tutkittiin langatonta reaaliaikaista videostriimausta videokamerasta pienikokoisen miniCASTER-enkooderin kautta suoraan LTE-, 3G- ja WLAN-verkkoon. Videostriimi vastaanotettiin Wowza-striimauspalvelimelle, josta se ohjattiin sisältöverkkoon tai suoraan asiakkaalle. Toisessa sovelluksessa videostriimi siirrettiin suoraan studioon, jossa se liitettiin osaksi lähetystä.</p> <p>Käytännön testien avulla tavoitteena oli löytää testilaitteiston luotettavan langattoman reaaliaikaisen videostriimauksen mahdollisuudet ja haasteet. Tavoitteena oli saada teräväpiirtovideo siirtymään luotettavasti mobiiliverkossa ja langattomassa verkossa. Videostriimiä testattiin eri bittinopeuksilla ja resoluutioilla ja pyrittiin saamaan esiin kulloinkin verkon maksimaalinen suorituskyky.</p> <p>Hyvissä olosuhteissa kaikissa testitapauksissa onnistuttiin reaaliaikaisen teräväpiirtovideon siirrossa. Langattoman verkon suuri bittinopeuden vaihtelu aiheutti sen, että välillä videostriimi saattoi katketa signaalin heiketessä. Tästä tehtiin se johtopäätös, että tehokas virheenkorjaus, useamman yhtäaikaisen yhteyden ja lisäantennien käyttö on välttämätöntä laadun takaamiseksi. Testiin valittu enkooderi on lupaava laite, mutta vielä kehitysvaiheessa. Enkooderissa havaittiin selviä ongelmia langattoman striimauksen kanssa ja se muodostui konseptin pullonkaulaksi, joka pystyttiin kiertämään lisälaitteilla, mutta laite vaatii vielä testausta ennen tuotantokäyttöä.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin ja onnistuttiin toteuttamaan järjestelmä, jolla voitiin striimata reaaliaikaisesti kuvaa langattomissa verkoissa, suoraan kamerasta miniCASTER-laitteen avulla.</p> <p>Konsepti on erittäin kustannustehokas ja mahdollistaa ajantasaiset urheilu-, uutis- ja tapahtumalähetykset. Ratkaisua voi soveltaa myös esimerkiksi poliisin erikoisjoukkojen käytössä välittämään reaaliaikaista kuvaa johtokeskukseen tai käyttää videotuotannossa osana kameralta tulevan kuvan sekä metadatan keräämisessä että kuvan tarkkailussa.</p>	
Avainsanat	striimaus, 3G, 4G, LTE, minicaster

Author(s) Title Number of Pages Date	Toni Lehtimäki Real-time Video Streaming from Video Camera over LTE, 3G and WLAN 44 pages + 2 appendices May 22nd 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Telecommunication
Instructor(s)	Supervisor & Instructor: Jouko Kurki, Dr Tech, Principal Lecturer
<p>Real-time streaming from a video camera using a small encoder to the network with wireless connection via LTE, 3G or WLAN was studied in this thesis. The stream was passed to a Wowza streaming server, where it was transmitted to a Content Delivery Network, CDN or straight to end user. Another case was where the stream was transmitted to a studio to be received with a hardware decoder and then joined as part of a live-broadcast.</p> <p>Through practical tests the goal was to determine the performance and reliability of wireless real-time streaming for high definition video with the test equipment used. Video was first encoded using H.264 and coupled with AAC encoded audio. Then it was encapsulated to MPEG2-TS-packets to be transmitted over IP-network via RTP/UDP-protocol. Streaming was tested with various settings with varying the bit rate and resolution. With different settings and setups the maximum network performance was tested for the studied cases.</p> <p>In optimum circumstances HD-stream was transmitted with success over LTE, 3G and WLAN networks. Fluctuation of the wireless network speed caused errors in the stream from time to time. This led to a conclusion that error correction, multiple simultaneous connections and external antennas must be used to guarantee quality of the service in most of the cases. The miniCASTER-encoder used was a promising device, handling most of the test cases with ease, but had obvious problems in the area of wireless transmission. Through workaround those problems were bypassed. However, the encoder still needs development and testing for stable production use.</p> <p>The goals of the study were achieved and a solution for wireless real-time streaming was built and tested directly from a video camera via a miniCASTER-encoder. The built concept is very cost-efficient and enables live broadcast for sports, news or similar events and can even be used to some extent by special police forces to stream live broadcast to the command center. Also this solution could be used in video production to stream live video from a video camera to the director for inspection and also collect metadata from the camera at the same time.</p>	
Keywords	Real-time streaming, LTE, 3G, WLAN, miniCASTER

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Striimauksen ja langattoman tiedonsiirron toteutustekniikat	4
2.1	Reaaliaikaisen videon siirto langattomissa verkoissa	4
2.2	UMTS 900MHz ja 2100MHz	4
2.3	Dual cell HSPA	5
2.4	Long Term Evolution, LTE	6
2.5	MPEG transport stream	8
2.6	H.264/MPEG-4 AVC	10
2.6.1	Profiilit	10
2.6.2	Pakkaustasot	11
3	Reaaliaikaisen videon toteutus langattomasti	12
3.1	Laitteet	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
3.1.1	LTE-nettitikut	14
3.1.2	miniCASTER® mobiili videoenkooderi	17
3.2	Reaaliaikaisen striimauksen testit	23
3.2.1	Videostriimin lähetys WLAN-verkon yli	24
3.2.2	Videostriimin lähetys 3G-verkon yli	25
3.2.3	Videostriimin lähetys 4G-verkon yli	29
3.2.4	Videostriimin analysointi TSReader-sovelluksella	30
3.3	Reaaliaikaisen videostriimin vastaanotto Wowza Media Server -sovelluksella	32
3.3.1	Wowza Media Server -asennus	32
3.3.2	Wowza-palvelimen konfigurointi miniCASTER striimin vastaanottoon	33
3.3.3	Videon vastaanotto loppukäyttäjällä	33
4	Yhteenveto ja tulevaisuudennäkymät	41
	Lähteet	43
	Liitteet	

Liite 1. Wowza Media Server-ohjelmiston asennus ja peruskäyttö

Liite 2. miniCASTER:n TS-striiimin välitys Wowza Media Server-sovelluksella

Lyhenteet

3G	3rd Generation, kolmannen sukupolven matkapuhelintekniikka.
3GPP	3rd Generation Partnership Project, usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio.
AAC	Advanced audio encoding, edistynyt äänenpakkaustekniikka.
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line, epäsymmetrinen tiedonsiirtotekniikka.
ASO	Arbitrary Slice Ordering, H.264-standardin käyttämä tiedonsiirron häviötä vähentävä algoritmi.
CDN	Content Delivery Network, palvelinympäristö joka toimii sisällönjakajana.
CP	Cyclic prefix, suojaväli joka lisätään tietoliikenteessä symbolin perään.
CSMA	Carrier Sense Multiple Access, tietoliikenneprotokolla.
DVB	Digital Video Broadcasting, joukko standardeja digitaaliselle televisiolle.
E-DCH	Enhanced uplink DCH, HSUPA:n virallinen nimitys.
eNodeB	enhanced NodeB, uuden sukupolven tukiasema.
FEC	Forward Error Correction, virheenkorkauskoodi, jolla pyritään hallitsemaan virheitä tiedonsiirrossa.
FMO	Flexible Macroblock Ordering, H.264-standardissa määritelty virheenkorkausalgoritmi.
H.264	H.264 on edistynyt videon pakkausmenetelmä, joka korvasi MPEG-2-pakkauksen.

HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access, UMTS:n kehittynyt downlink-suunnan pakettidatamenetelmä.
HSPA	High-Speed Packet Access, matkapuhelinviestintäprotokollien kokoelma (HSDPA ja HSUPA).
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access, UMTS:n kehittynyt uplink-suunnan pakettidatamenetelmä.
IP	Internet Protocol, internetprotokolla.
JRE	Java Runtime Environment, rajapinta java-koodin ja tietokoneen resurssien välillä.
LTE	Long Term Evolution, uuden sukupolven mobiilitekniikka, joka on 3G-tekniikan korvaaja.
LTE-A	LTE Advanced on LTE:n korvaava mobiilitekniikka, joka kasvattaa tiedon- siirtonopeuksia entisestään.
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output, tietoliikennetekniikka, jossa käytetään sekä lähetykseen että vastaanottoon useampaa antennia.
MPEG	Moving Pictures Expert Group, usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio.
MPEG-2-TS	MPEG transport stream, standardi videon lähetykseen paketointiin epäluotettavissa verkoissa.
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, Modulointitekniikka.
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access, protokolla.
PID	Packet ID, tunnistetieto paketille MPEG-2-TS-striimissä.
PRB	Physical Resource Block, fyysinen resurssielementti OFDMA-protokollassa.
PS	Program Stream, videon paketointimenetelmä.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, modulointitekniikka.

QoS	Quality of Service, palvelutason luokitus.
RNC	Radio Network Controller, radioverkko-ohjain.
RS	Reed-Solomon, ei-binäärinen virheenkorjauskoodi, joka korjaa syklisiä virheitä.
RTMP	Real Time Messaging Protocol, reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon kehitetty verkkoprotokolla.
RTP	Real-time Transport Protocol, reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon kehitetty verkkoprotokolla.
RTSP	Real Time Streaming Protocol, reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon kehitetty verkkoprotokolla.
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access, LTE:ssä käytetty protokolla uplink-suuntaan.
SDI	Serial Digital Interface, SMPTE:n määrittelemä standardijoukko ammattilaisvideotuotantoon.
UDP	User Datagram Protocol, yhteydetön tiedonsiirtoprotokolla, joka ei tarjoa vuonohjausta.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, GSM-tekniikkaan pohjautuva tietoliikennestandardi.
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka.

1 Johdanto

Tämä työn tarkoituksena on ollut luoda kustannustehokas ratkaisu langattomaan reaaliaikaiseen videon striimaukseen, joka perinteisesti vaatii isoja investointeja. Konseptissa videokamerasta siirretään kuva ja ääni pienikokoiselle enkooderille, joka pakkaa videon. Enkooderilta videostriimi siirtyy LTE (*Long Term Evolution*), 3G- tai WLAN (*Wireless Local Area Connection*)-yhteyden avulla IP-verkon yli palvelimelle tai dekooderille esimerkiksi osaksi uutislähetystä, jolloin video dekoodataan lähetysjärjestelmän läpi suoraan lähetykseen.

Toisessa sovelluksessa reaaliaikainen videostriimi lähetetään enkooderilta palvelimelle, jossa video transkoodataan useammalle laitteelle, tai vaihtoehtoisesti lähetetään vielä kolmannen osapuolen sisältöverkkoon (*Eng. Content Delivery Network*). Sisältöverkosta tai striimauspalvelimelta videostriimi lähetetään sopivassa muodossa eteenpäin loppukäyttäjälle, joka vastaanottaa videon esimerkiksi älypuhelimella tai Internet-selaimen kautta tietokoneella. Ensimmäisen ja toisen sovellutuksen voi yhdistää myös yhdeksi sovellukseksi; näin voidaan luoda mahdollisimman kattava ratkaisu.

Tiedonsiirron osalta selvitettiin luotettavan tiedonsiirron rajoja videokuvan siirtämisessä 3G-, LTE- ja WLAN-verkon yli, tutkimuksen tavoitteen puitteissa. Tarkoituksena oli selvittää kunkin tekniikan mahdollisuudet reaaliaikaisen videon siirtämiselle langattoman verkon yli. Tutkimusten perusteella pyrittiin myös määrittämään tarvittavat laitteet luotettavan tiedonsiirron varmistamiseen ja esittämään testeissä havaitut rajoitteet. Häiriöitä ja virheitä tiedonsiirrossa voidaan yrittää eliminoida laadunvarmistuksella ja virheenkorjauksella, mutta tämän työn testeissä ei ollut käytössä laadunvarmistusta tai virheenkorjausta tiedonsiirrossa.

Tässä työssä reaaliaikaisuudella tarkoitetaan sitä, että kuvataan materiaalia, esimerkiksi uutislähetysten osaa reaaliajassa ja siirretään se langattoman verkon yli mahdollisimman pienellä viiveellä. Reaaliaikaisuudella ei siis esimerkiksi tarkoiteta tässä työssä sitä, että videota siirretään palvelimelta suoraan käyttäjälle. Edellä mainittu on tosin osa reaaliaikaisen videovirran siirtoa loppukäyttäjälle.

Langatonta tiedonsiirtoa käsitellään yleisesti, mutta mitään radorajapinnan analysaattoreita ei tässä tutkimuksessa ole käytössä. Tiedonsiirtoa tutkitaan näin ollen pakettipohjaista liikennettä tarkkailemalla. Tiedonsiirtoon vaikuttavat aina suuresti ympäristön vallitsevat olosuhteet kuten liikenne verkossa, lähettävän päätelaitteen ominaisuudet, sää, rakennukset ja runkoverkon kaapelointi.

Videon siirtäminen langattomasti on haasteellista. Mikäli videosta halutaan laadukasta, siirrettävät tietomäärät ovat isoja. Ison tietomäärän siirtäminen vaatii suuren bittinopeuden ja langattomassa tiedonsiirrossa bittinopeuden vaihtelevuus on usein suurta, mikä saattaa näkyä loppukäyttäjälle häiriöinä kuvassa, äänessä tai molemmissa.

Käytännön testeissä kartoitettiin mobiiliverkon ja langattoman lähiverkon mahdollisuuksia reaaliaikaisen videon siirtämiseksi pienikokoisen miniCASTER-enkooderin avulla. Laitteella otettiin videosignaali sisään ja välitettiin enkoodattu signaali langattomasti verkkoon.

Tavoitteiden saavuttamiseen liittyy oleellisesti sekä videon pakkaaminen (*encoding*) että purku (*decoding*) ja niihin liittyvät parametrit, joita testeissä on käytetty testatun laitteen osalta. Tehokas videon pakkaus mahdollistaa laadukkaan videon siirtämisen pienemmällä bittinopeudella loppukäyttäjälle. Mitä tehokkaampaa videon pakkausta ja purkua käytetään, sitä enemmän vaaditaan resursseja videon prosessointiin enkooderilla ja dekooderilla.

Pakkauksen tehokkuudesta voidaan ottaa esimerkiksi HDTV-lähetys, joka MPEG-2-koodauksella vaatisi noin 15–18 Mb/s bittinopeuden. Bittinopeutta saadaan kutistettua käyttämällä H.264-koodausta ainakin 50 prosenttia, suhteessa MPEG-2-koodaukseen. Sama HDTV-lähetys saadaan H.264-koodauksella kutistettua noin 7-8 Mb/s. [1 s.47; 2 s.58.] Tämä kertoo siitä kuinka, merkittävässä osassa erilaiset pakkaustekniikat ovat tiedonsiirron optimoinnin kannalta, kun yhteysnopeuksien kasvattaminen ei ole syytä tai toisesta mahdollista.

Mobiiliverkoissa on tavanomaisesti siirretty lähinnä puheliikennettä, joka vie huomattavasti vähemmän kaistaa kuin videon siirtäminen. HDTV-lähetys vie kaistaa useamman megabitin sekunnissa riippuen videokuvan laadusta ja pakkaustekniikasta, kuten yllä todettiin. Käyttäjältä tukiasemaan lähettäminen ylittää 3G-verkossa parhaimmillaan noin

4 Mb/s 1,25 MHz:n kaistanleveydellä ja CDMA-koodauksella [3 s.89]. Todellisuudessa nopeus saattaa olla huomattavasti pienempi ja riippuu verkkotekniikasta, sijainnista ja päätelaitteen ominaisuuksista. Tämä yhteysnopeus tarkoittaa, että videon lähettäminen luotettavasti 3G-verkossa vaatii useamman rinnakkaisen yhteyden. Esimerkiksi teräväpiirtovideon lähettäminen vaatii vähintään 5-8 Mb/s jatkuvan yhteysnopeuden.

Useimmissa verkkotekniikoissa tukiasemalta päätelaitteelle tuleva yhteysnopeus on parempi kuin päätelaitteelta tukiasemalle menevä nopeus. Videon siirto onnistuu parhaiten päätelaitteelle päin, mikä on yleisin käytötapa. Tässä tutkimuksessa tieto siirrettiin tietoa pääasiallisesti päätelaitteelta tukiasemaan.

LTE-verkossa tiedonsiirto kapasiteetit nousevat huomattavasti, verrattuna 3G-tekniikoihin, MIMO (Multiple input, multiple output) -tekniikan, OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) -tekniikan (downlink) ja SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) -tekniikan ansiosta (uplink). Käytössä oleva kaistanleveys saadaan käyttäjien välisen ortogonaalisuuden avulla hyödynnettyä tehokkaammin, jolloin häiriötä on myös vähemmän. [4 s.5.] MIMO-tekniikkaa operaattorit tarjoavat tällä hetkellä tosin vain tukiasemalta päätelaitteelle. Lähetykseen on tarjolla vain yksi antenni, eli lähetyksessä ei hyödynnetä MIMO-tekniikkaa, mihin *Single Carrier* viittaa.

Langaton lähiverkko (WLAN) toimii videon siirtoon hyvin, mikäli samaan yhteyspisteeseen ei ole paljon liikennettä tai laadunvarmistus on käytettävissä. WLAN-verkossa ongelmana on lyhyt kantama, verrattuna 3G- ja LTE-verkkoon jossa kantama tukiasemaan voi olla useita kymmeniä kilometrejä. IEEE 802.11n -standardin myötä, joka tarjoaa perinteisen IEEE 802.11b/g -standardin 2.4 GHz:n taajuuden lisäksi myös 5 GHz:n taajuuden ja yli 100 Mb/s bittinopeuden hyödyntämällä muun muassa MIMO-tekniikka ja 40 MHz:n kaistanleveyttä [5]. Koska 2,4 GHz:n taajuutta hyödyntää WLAN-tekniikan lisäksi esimerkiksi Bluetooth-tekniikka, 5 GHz:n taajuudella on potentiaalista saada häiriövapaampi yhteys, koska sillä on toistaiseksi vähemmän käyttäjiä [6]. Nykyisellään IEEE 802.11 -standardi mahdollistaa siis hyvät puitteet teräväpiirtokuvan siirtoon.

2 Striimauksen ja langattoman tiedonsiirron toteutustekniikat

2.1 Reaaliaikaisen videon siirto langattomissa verkoissa

Mobiiliverkot ja WLAN ovat haasteellinen ympäristö isojen tietomäärien siirtoon, erityisesti käyttäjältä tukiasemalle nopeudet ovat usein heikompia. Langattomalle tiedonsiirrolle ominaiset bittinopeuden vaihtelut luovat haasteita, joita voidaan yrittää ratkaista esimerkiksi laadunvarmistuksella (QoS, Quality of Service), puskuroimalla dataa, virheenkorjauksella ja signaalia vahvistamalla. QoS on ongelmallista mobiiliverkossa, koska vaikka tukiaseman päässä kaista olisi varattu tietyn käyttäjän käyttöön, ympäristön olosuhteet saattavat vaikuttaa saavutettuun bittinopeuteen merkittävästi. Langaton tiedonsiirto on niin sanottu "best effort"-verkko, jossa sananmukaisesti yritetään tarjota parasta mahdollista bittinopeutta, mutta bittinopeuden suuruutta ei voida taata.

Reaaliaikaisen videon siirron kannalta suuret bittinopeuden vaihtelut aiheuttavat ongelmia lähetyksessä, koska se vaatii, että enkooderi mukautuu verkon olosuhteisiin. Tähän voidaan varautua puskuroimalla videota, mutta se taas kasvattaa viivettä ja toisaalta voidaan käyttää virheenkorjausta, mutta se lisää siirrettävän bittivirran suuruutta.

Laadunvarmistamiseen tarvitaan siis myös parempia antennia ja useimpien yhteyksien yhtäaikaista käyttöä ja virheenkorjausta, jos halutaan pitää siirron latenssi pienenä.

2.2 UMTS 900MHz ja 2100MHz

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) -tekniikka on suunniteltu alusta lähtien myös datasiirtoa varten. Alkuvaiheessa latausnopeus oli 384 kb/s, mutta nykyään HSDPA- ja HSUPA-tekniikat, ovat parantaneet tiedonsiirtonopeuksia monikertaisiksi, esimerkiksi HSUPA (Category 6) nopeus on 5,76 Mb/s [7 s.402]. Tämän tutkimuksen kannalta olennaisinta 3G:n osalta on HSUPA-tekniikka, koska tavoitteena oli striimata päätelaitteelta tukiasemalle. HSUPA kategoriat 1-6 on esitelty taulukossa 1. Taulukosta 1 on myös hyvä havaita, että suurimmat bittinopeudet saavutetaan silloin kun TTI (Transfer Time interval) on 2 ms. Esimerkiksi kategorian 6 tapauksessa TTI:n pidentyessä 10 ms, päästään enää 2 Mb/s bittinopeuteen.

Euroopassa on käytössä kaksi taajuutta 2100 MHz (koko Eurooppa) ja 900 MHz (vain osassa Eurooppaa mm. Suomi). 900 MHz on ollut käytössä jo GSM-tekniikan aikana ja tarjoaa pitemmän kantaman tukiasemalta päätelaitteelle kuin 2100 MHz. USA:ssa on käytössä 1900 MHz:n ja 850 MHz:n taajuudet. [8 s.3.]

Taulukko 1. HSUPA-terminaalien suorituskyky kategoriat [7 s.402]

Category	Max no. of parallel codes for E-DPDCH	TTIs supported (ms)	Smallest E-DPDCH spreading factor	Max. L1 data rate with 10 ms TTI (Mbps)	Max. L1 data rate with 2 ms TTI (Mbps)
1	1	10	4	0.72	N/A
2	2	2, 10	4	1.45	1.45
3	2	10	4	1.45	N/A
4	2	2, 10	2	2	2.91
5	2	10	2	2	N/A
6	4 (with 2 SF4 and 2 SF2)	2, 10	2	2	5.76

2.3 Dual cell HSPA

HSPA-tekniikan uusimmat julkaisut (3GPP Release 7-9), ovat tuoneet huimaa kehitystä bittinopeuksiin ja uplink-puolella on ohitettu jopa ADSL-tekniikan nopeudet kuparikaapeleissa. Latenssi on myös laskenut merkittävästi WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) -radiatorajapinnan alkuajoista, jolloin latenssi oli noin 200 ms. Nyt latenssi saadaan puristettua jopa alle 30 ms:n. Nopeutta kasvatettaessa on myös huolehdittu siitä, että virrankulutus pysyy kurissa, hyödyntämällä epäjatkuvaa lähetystä (DTX) ja vastaanottoa (DRX). [7 s.5-6.]

UMTS Dual Carrier- tai DC-HSPA (Dual cell HSPA)-tekniikassa käytetään hyväksi jo osittain myös LTE:ssä hyödynnettyä MIMO-tekniikka (HSPA 2x2MIMO) *Dual Cell*-tekniikan lisäksi, joka ei tarvitse useampaa antennia. Radiotiellä käytetään LTE:n tapaan suurempaa kaistanleveyttä, 10-20 MHz, suurempien tiedonsiirtonopeuksien saavuttamiseen [7 s.6,453]. Kuten LTE:ssä MIMO on käytössä vain tukiasemasta päätelaitteeseen, ei toisinpäin. DC-HSPA (3GPP Release 9) mahdollistaa downlin-suuntaan jopa 83 Mb/s ja uplink-suuntaan jopa 23 Mb/s [7 s.215.]. Tällöin hyödynnetään uplink suuntaan myös *Dual Carrier*-tekniikkaa tai MIMO-tekniikkaa, jotta 23 Mb/s nopeus saavutetaan. Release 7 tuo 16-QAM-modulaation jolla saadaan maksiminopeus 11,5 Mb/s. Yksi 16-QAM sisältää 4-bittiä per symboli, kun aikaisemmassa julkaisussa (Release 6) käytetään

tään QPSK-modulaatiota, jonka yksi symboli sisältää vain 2-bittiä. QPSK-modulaatiolla päästään maksimissaan 5.7 Mb/s nopeuteen [4 s.410].

2.4 Long Term Evolution, LTE

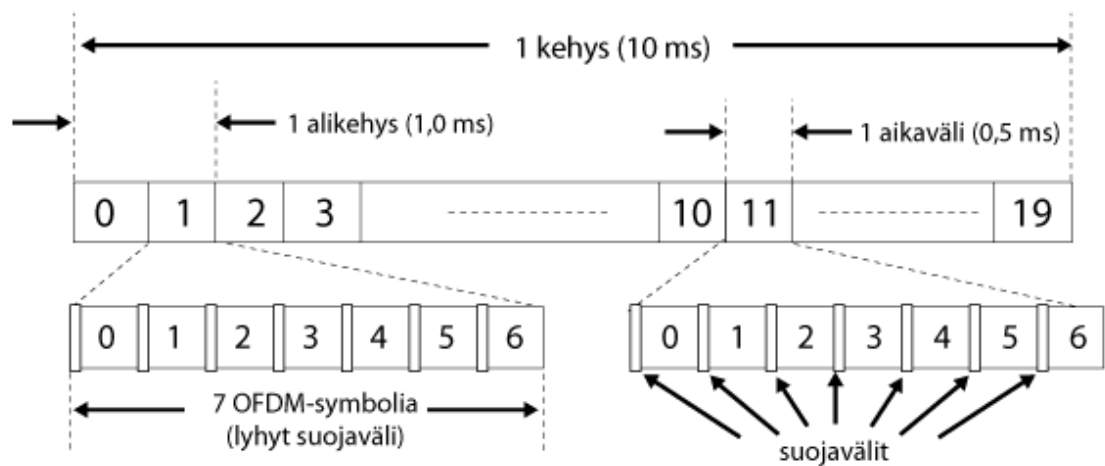
LTE mahdollistaa OFDM-modulaatiolla suuret tiedonsiirtonopeudet, käytännössä vuonna 2012 tukiasemalta päätelaitteelle 100 Mb/s ja päätelaitteelta tukiasemaan 50 Mb/s 20 MHz:n taajuuskaistalla. Vastaanottonopeus saavutetaan kahden kanavan MIMO:n avulla ja lähetys yhdellä antennilla. Teoriassa siis kahden antennin käyttö kaksinkertaistaa tiedonsiirtonopeuden. Useamman antennin tapauksessa ongelmana on, että antennien signaalit häiritsevät hieman toisiaan. Aivan kaksinkertaistettuun nopeuteen ei siis päästä. [9 s.1.]

Reaaliaikaista videostriimiä lähetettäessä ei saada kaikkea hyötyä irti LTE:stä, mutta päästään kuitenkin HSUPA Release 6 -tekniikkaan verrattuna moninkertaisiin tiedonsiirtonopeuksiin, ja spektritehokkuuskin on noin 2-3 kertaa parempi kuin HSUPA Rel 6. Suorituskyky on tietysti aina monen tekijän summa. Paras yhteys saavutetaan alle viiden kilometrin päässä tukiasemasta, olosuhteiden ollessa optimaaliset. Yhden tukiaseman kapasiteetti on aina rajallinen ja suuri käyttäjämäärä laskee yhteysnopeuksia. Silloin yksi mahdollisuus on useamman yhteyden siltaaminen ja parempien antennien käyttö.

LTE käyttää OFDMA:ta (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), joka mahdollistaa verkonresurssien tehokkaamman käytön ja noin 10 millisekunnin latenssin. Verrataan sitä 802.11a-tekniikkaan ja CSMA-multipleksointiin, jossa päästään vain noin 50 prosentin tehokkuuteen. Tämä johtuu muun muassa siitä, että välillä käyttäjä joutuu odottamaan vuoroaan lähetyksessä, jotta vältetään mahdollisia törmäyksiä liikenteessä, mutta samalla verkon resursseja menee hukkaan. Esimerkiksi voidaan ottaa WLAN-verkko, jonka nimellinen nopeus 54 Mb/s CSMA:lla päästään noin 25-30 Mb/s nopeuksiin. Tosin 802.11n-standardi on tuonut mukanaan huomattavia parannuksia WLAN-verkon osalta. [9 s.7-8.]

OFDMA monimutkaistaa verkon resurssien hallintaa, mutta on silti ylivoimainen tekniikka perinteisen pakettipohjaisen liikenteen rinnalla, tehokkuuden ja latenssin osalta.

OFDMA:n tehokkuus tulee paljolti fyysisen kerroksen resurssien tehokkaasta jaosta, jossa jokaiselle käyttäjälle varataan tietty määrä esim. QAM-64-moduloituja apukantaaaltoja ennalta määritetyksi ajaksi. Tästä resurssien jaosta vastaa PRB (Physical Resource Block). PRB:n käytön taas mahdollistaa uuden sukupolven tukiasema (eNodeB), joka tekee RNC (Radio Network Controller):n tarpeettomaksi, eli verkon rakenne yksinkertaistuu, koska tukiasema sisältää enemmän toimintoja ja pienentää myös viivettä verkossa. Yksi PRB sisältää 12 OFDM-apukantaaaltoa 15 KHz:n päässä toisistaan. PRB on pienin elementti, mitä eNodeB voi jakaa käyttäjille, ja niiden määrä riippuu kaistanleveydestä. 20 MHz:n kaistalla on käytössä 100 PRB:tä, joka vastaa kokonaisbittinopeutta. [9 s.8-9.]



Kuva 1. LTE: yleinen kehysrakenne FDD:lle. Kuva on luotu lähteen [9 s.8] pohjalta.

Kuvassa 1 esitetty kehysrakenne selittää yleistä kehysrakennetta FDD:n tapauksessa. TDD:lle rakenne olisi erilainen. TDD:n tapauksessa kehys olisi jaettu kahteen puolikehykseen ja kehysrakenne eroaa muutenkin melko paljon, mutta sen tarkemmin sitä ei tässä tutkimuksessa käsitellä. Kuvasta 1 nähdään, että kehys on pituudeltaan 10 ms ja jakautuu 20 lokeroon (0-19), joka puolestaan jakautuu 10 alikehykseen (sub-frame), joista kukin jakautuu kahteen alikehykseen kestoaltaan 0,5 ms. Nämä viimeksi mainitut alikehykset sisältävät 6-7 OFDM-symbolia riippuen siitä, onko käytössä normaali(short CP) vai laajennettu suojaväli (long CP). [9 s.8.]

LTE-Advanced

LTE:n seuraaja LTE-A (Long Term Evolution Advanced) tarjoaa maksiminopeudeksi teoriassa paikallaan olevaan päätelaitteeseen 1 Gb/s. Liikkeessä olevaan päätelaitteeseen kaavallaan 100 Mb/s nopeuksia. [4 s.11] LTE-A:n on tarkoitus lisätä kaistanleveyttä entisestään 40 MHz:iin ja myöhemmin jopa 100 MHz. MIMO-tekniikassa on suunnitteilla hyödyntää kahdeksan antennin yhtäaikaista siirtoa downlink-suuntaan ja neljän antennin yhtäaikaista siirtoa uplink-suuntaan.[9 s.11.]

2.5 MPEG transport stream

MPEG transport stream (TS, MPEG-2-TS) on ITU-T:n määrittelemä standardi (ITU-T Rec. H.222 tai ISO/IEC 13818-1), jota käytetään niin kuvan ja äänen tallennukseen kuin lähetykseenkin. Standardi on kuitenkin pääasiassa suunniteltu videostriimin lähetykseen reaaliaikaisesti epäluotettavien verkkojen yli toisin kuin MPEG program stream (PS), jota käytetään esimerkiksi DVD-levyissä, eli varmassa tiedonsiirrossa. MPEG-2-TS-standardi on yleisesti käytössä esimerkiksi DVB- ja ATSC (Amerikkalainen DVB:tä vastaava standardi) -järjestelmissä. [11 s.662-667.]

ISO/IEC 13818-1-standardi määrittelee tavan, jolla videostriimi paketoidaan ja kuinka lisätään virheenkorjausta ja ylläpidetään eheää tiedonsiirtoa myös virhetilanteissa. Standardi ei määrittele eksplisiittisesti, millä tekniikalla video ja ääni pakataan. Esimerkiksi testeissä video pakattiin MPEG-4-AVC/H.264-muotoon ja ääni AAC (Advanced Audio Codec)-muotoon.

Oletusarvoisesti MPEG-2-TS-paketin koko on 188 tavua, joka koostuu synkronointitavusta, jota seuraa kolme yhden bitin tilatietoa ja 13 bitin mittainen paketin tunniste PID (Packet identifier). Tätä seuraa 4 bitin jatkuvuuslaskuri. Valinnaisia kenttiä voidaan käyttää, mikäli sovellus vaatii. Loppuosa paketista on dataa, tosin riippuen sovelluksesta virheenkorjaus kasvattaa paketin kokoa. ISDB-T ja DVB-T/C/S käyttävät 204 tavun kokoista pakettia, jossa RS (Reed-Solomon) ja FEC (Forward error correction) lisäävät 16 tavua, paketin yhteenlaskettu kooksi tulee 204 tavua ($188B+16B=204B$). ATSC, joka hyödyntää myös RS- ja FEC-virheenkorjausta, lisää pakettiin 20 tavua pituutta, jolloin kokonaisuudessaan pituudeksi tulee 208 tavua ($188B+20B=208B$) [12 s.39]. Pakettikooksi määriteltiin 188-tavua alun perin ATM-yhteensopivuuden tähden, koska se oli ympäristö jossa MPEG-2-TS-striimiä suunniteltiin käytettäväksi. [12 s.40.]

Taulukko 2. MPEG2-TS-paketin sisältö ja sisällön merkitys.

Nimi	Bittien lkm	Kuvaus
Synkronointitavu (sync byte)	8	0x47 (heksadesimaali)
Tiedonsiirtovirheen ilmaisu (TEI)	1	Demodulaattori asettaa arvoksi 1, jos paketissa on virhe (vähintään yksi) jota ei voida korjata, muutoin arvo 0.
Payload Unit Start-ilmaisu	1	Arvo 1 tarkoittaa PES- tai PSI dataa ja muutoin arvo on nolla.
Tiedonsiirron priorisointi	1	Arvolla 1 ilmaistaan muita saman PID:n omaavia paketteja korkeampi tärkeys
PID	13	Yksilöi paketin (esim. jos sama striimi sisältää useamman TV-ohjelman)
Saltaus (transport scrambling control)	2	00 = ei salattu, seuraavat DVB-standardin mukaan: 01 = tulevaisuuden varalle, 10 = salaus parillisella avaimella ja 11 = salaus parittomalla avaimella.
Paketin sisältö (adaptation field control)	2	00 = varattu 01 = vain data 10 = adaptation-kenttä ainoastaan 11 = adaptation-kenttä ja data
Jatkuvuuslaskuri (continuity counter)	4	Laskuri juoksee vain jos adaptation-kenttä on käytössä (tilat 10 ja 11)
Tähän loppuu paketin 4 tavun otsikkotiedot ja loput 184 tavua on varattu datalle.		
Adaption-kenttä (adaptation field)	0 ≥	0 jos paketin sisältökenttä saa arvon 01
Data (data byte)	0 ≥	0 jos paketin sisältökenttä saa arvon 10

Taulukossa 2 kuvataan tarkemmin MPEG-2-TS-paketin rakennetta, paketista on kerrottu taulukossa olennaisimmat asiat. Paketissa on aina 4 tavua otsikkotietoja ja loput 184 tavua on varattu datalle. Jos paketissa ei ole dataa tai sitä on alle 184 tavua, loput

vapaat tavut korvataan nolilla, jotta pituus olisi aina tuo 188 tavua. Tätä tietoa käytetään hyväksi striimin synkronoinnissa. Jos paketin pituus vaihtelee, synkronointi ei onnistu. Tämä johtuu siitä, että dekooderi tarkistaa synkronointia, joka viidennen paketin välein. Jos tarkistus epäonnistuu kolme kertaa peräkkäin, synkronointi epäonnistuu. [12 s.43-44.]

2.6 H.264/MPEG-4 AVC

H.264 on standardi, joka on kehitetty videon kompressointiin ja se on myös tämän tutkimuksen kannalta oleellisin tekniikka, jolla teräväpiirtovideoista saadaan pakattua riittävästi reaaliaikaista langatonta tiedonsiirtoa varten. Tässä keskitytään erityisesti standardin määrittelemiin profiileihin (Eng. Profiles) ja pakkaustasoihin (Eng. Levels). [13.]

2.6.1 Profiilit

Standardi määrittelee pakatulle videolle ominaisuusjoukkoja, joita nimitetään profiileiksi. Tässä käsitellään hieman tarkemmin perusprofiili BP (Baseline Profile), pääprofiili MP (Main Profile) ja korkean laadun profiili HP (High Profile). Muut profiilit eivät ole yhtä oleellisia tämän tutkimuksen kannalta. Kaikilla edellä mainituilla profiileilla on pääasialliset käyttötarkoitukset, joita varten ne on suunniteltu. Kaikki edellä mainitut profiilit ovat 8-bittisiä ja niiden näytteistys tehdään 4:2:0-tekniikalla, kaikki profiilit tuottavat siis häviöllistä pakkausta. On olemassa myös häviöttömiä profiileja kuten High 4:4:4 Predictive -profiili [13 s.290]. Näytteistys liittyy siihen tieteellisesti todistettuun tosiasiaan, että ihmisen silmä erottaa paremmin kirkkauden (luma) vaihtelut, kuin värisävyn vaihtelut (chroma), näytteistys perustuu YCbCr-värijärjestelmään jossa Y kuvaa luma-arvoa, Cb ja Cr taas chroma-arvoja, jossa chroma arvot kuvaavat kuinka paljon värit eroavat harmaasta suhteessa siniseen ja punaiseen väriin. [14 s.565.]

BP-profiili on pääasiassa tarkoitettu mobiilisovelluksille, joilla on rajallinen kaista käytävissä. Video pyritään pakkaamaan mahdollisimman pieneen tilaan ja laatua yritetään korjata lähettämällä videokuvasta analysoitua dataa virheenkorjausta varten. Kuvaa korjataan pääasiassa FMO (Flexible Macroblock Ordering) -algoritmilla ja ASO (Arbitrary

Slice Ordering)-algoritmillä, joko yhdistämällä näiden tekniikoiden ominaisuudet tai käyttämällä vain toista. [14. s.573.]

MP-profiili eroaa perusprofiilista siinä, että FMO, ASO eivät ole tuettuna. Lisäksi pääprofiilissa hyödynnetään B-osia, painoarvotettua ennustusta (weighed prediction), CABAC (Context-adaptive binary arithmetic coding) –koodausta, kenttäkoodausta (FEC) ja kuvien tai makroblokkien adaptiivista vaihtelua kehys- ja kenttäkoodauksen välillä. Olenaisista on ymmärtää, että esimerkiksi dekooderi, joka tukee vain MP:tä, ei osaa välttämättä täydellisesti käsitellä BP-profiilin mukaisesti enkoodattua videota.

HP-profiili tukee kaikkia MP:n ominaisuuksia, mutta se tukee lisäksi uusia ominaisuuksia, jolla saadaan merkittävästi tehokkaampaa pakkausta, jota hyödynnetään HTDV:ssä, Blu-ray-levyissä ja muissa laadukasta teräväpiirtokuvaa tarvitsevista sovelluksissa. [15 s.3; 13 s.288.]

Profiilin määritelmä on laaja käsite ja sen kaikkia hypoteettisia ominaisuuksia ei ole edes käytännöllistä tai taloudellista toteuttaa, siksi standardissa määritellään lisäksi pakkaustasot, joilla määritellään tarkemmin mitä H.264-standardin ominaisuuksia laitteet ja ohjelmistot hyödyntävät. Pakkaustasot määritellään yksinkertaisilla rajoitejoukoilla, joilla kerrotaan esimerkiksi kuvan maksimikorkeus, maksimileveys ja kuinka monta kuvaa maksimissaan voidaan dekodata per sekunti. [13 s.2]

Puhuttaessa profiileista on hyvä huomata, että standardi velvoittaa, että dekooderi tukee kaikkia tiettyyn profiiliin liittyviä ominaisuuksia, mutta enkooderi on vapautettu tästä rajoitteesta sillä ehdolla, että se tuottaa kuitenkin striimiä joka voidaan dekodata samaa profiilia tukevalla dekooderilla, jota enkooderi käyttää soveltuvin osin. [14 s.573]

2.6.2 Pakkaustasot

Pakkaustasot pyrkivät kuvaamaan kuinka paljon resursseja vaaditaan, että pakattu video voidaan purkaa luotettavasti, ja toisaalta millä pakkaustasolla laite tai sovellus pystyy toteuttamaan koodekin tarjoamia ominaisuuksia. Kuvan koko vaihtelee pakkaustasojen välillä QCIF-resoluutiosta aina yli 4k x 2k-resoluutioon. Pakkaustasot on numeroitu tällä hetkellä 1:stä 5.2:een huonosta parempaan eli huonoin on 1 ja paras 5.2.

Pakkaustasojen tarjoamat bittinopeudet, joihin vaikuttaa luonnollisesti myös resoluutio, vaihtelevat välillä 64 kb/s-240 Mb/s. [14 s.573; 13 s.295.]

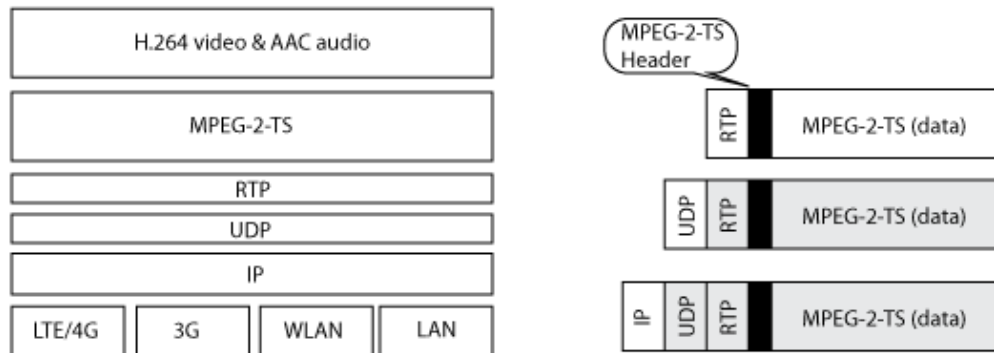
H.264-standardissa kuvaillaan myös epäsuorasti, mitkä pakkaustasot on tarkoitettu käytettäväksi BP-profiililla ja mitkä MP- ja HP-profiileilla. BP:llä tasot 1-3 ja vastaavasti MP:llä ja HP:llä 3-5.2. Standardissa esitellään myös miten nämä tasokohtaiset rajoitteet vaikuttavat muun muassa resoluutioon ja maksimibittinopeuksiin [13 s.297-306]. Tosin on luontevaa olettaa, että profiilien eri käyttötarkoituksin, rajaa sitä mitä pakkaustasoja tietyn profiilin kohdalla tulisi soveltaa. Pakkaustasojen ominaisuuksissa ja rajoitteissa olisi paljon asiaa, mutta niitä ei ole tarpeen käsitellä tarkemmin tämän raportin tavoitteiden puitteissa.

Testeissä käytetty miniCASTER-mobiilienkooderi tukee pakkaustasoja 1-4.1 ja käytössä on yllä mainitut profiilit: BP, MP ja HP. Siitä miltä osin tasojen ja profiilien ominaisuuksia hyödynnettiin testin enkooderissa, käsitellään lyhyesti testien tulosten perusteella.

3 Reaaliaikaisen videon toteutus langattomasti

Langaton striimaus toteutettiin TV1.eu:n valmistamalla miniCASTER-laitteella (www.minicaster.com), joka otti videota SDI-signaalina vastaan ja pakkasi videon H.264/AVC- ja audion AAC-koodekilla. Seuraavassa vaiheessa video siirrettiin MPEG-2-TS-striiminä IP-verkon yli joko Wowza-palvelimelle tai dekooderille, käyttäen RTP-, UDP- tai RTMP-protokollaa. UDP- ja RTMP-protokolla tulivat mahdolliseksi työn edetessä, kun laitteen ohjelmisto päivittyi versiosta 1.1.5 versioon 1.3.1, 3. huhtikuuta 2012. Suurin osa testeistä suoritettiin ennen uutta ohjelmistopäivitystä.

Tiedonsiirtoon käytettiin WLAN- ja 3G/LTE-tikkuja tai lähiverkkoyhteyttä. LTE-tikkuihin ja miniCASTER-laitteen välisistä ongelmista johtuen, jotka kuvataan tarkemmin myöhemmin, LTE-yhteyttä testattiin kytkemällä miniCASTER-laite kannettavaan tietokoneeseen, jonka kautta jaettiin Internet-yhteys miniCASTER-laitteelle. 3G-yhteys saatiin kuitenkin toimimaan suoraan laitteessa.



Kuva 2. Reaaliaikaisen videon protokollapino (vasemmalla) ja lähetettävän paketin rakentuminen (oikealla).

Kuvassa 2 esitellään yksinkertaistettuna protokollapino, joka toimi tämän raportin lähtökohtana sille, miten videostriimiä haluttiin siirtää langattomassa verkossa. Verkkoprotokollia, kuten RTP- ja UDP-protokollaa, joita kuvassa 2 esitetään, ei käsitelty teoriaosuudessa, koska ne oletetaan tässä raportissa triviaaleiksi. Tässä osuudessa niitä käydään läpi kun ne selventävät merkittävästi jotain tutkimuksen tavoitteesta. Olenaista kuvasta 2 on ymmärtää, että videostriimaus langattoman verkon yli sisältää varsinaisen striimin lisäksi, myös muuta dataa, joka vaikuttaa lopullisen bittivirran suuruuteen ja sitä kautta tarvittaviin verkkoresursseihin.

Pääasiallisesti videostriimi lähetettiin Wowza Media Server -palvelimelle, joka välitti videon eteenpäin loppukäyttäjälle. Tutkimuksen aikana tullut päivitys mahdollistaa RTMP-protokollan käytön videostriimin lähetykseen. RTMP on muun muassa pääasiallinen Adobe Flash Media Server -sovelluksen protokolla. Sama pätee moniin videostriimausta tarjoaviin sisältöverkkoihin (CDN). Lähiverkossa testattiin enkoodauksen laatua muun muassa siksi, että saatiin paremmin erotettua enkooderin tuottamat virheet, tietoliikennetyhteyksissä tapahtuvista virheistä. Lähiverkossa videostriimi lähetettiin suoraan VLC-mediasoitinille, jolla testattiin enkooderin maksimisuorituskyky. Lähiverkossa tutkittiin mistä enkooderin luoma MPEG-2-TS-striimi koostuu TSReader-nimisellä analysointiohjelmalla.

Videostriimin vastaanottoa testattiin myös rautapohjaisella Blankomin DRP 393 -dekoodereilla, mutta miniCASTER:n tuottama MPEG-2-TS ei toistunut enkooderista lukuisista yrityksistä huolimatta. Pääasialliseksi syyksi epäiltiin sitä, että videostriimi ei ollut aitoa CBR (Constant Bitrate) -striimiä vaan enkooderin tuottaman striimin bittinopeuden vaihtelu oli liian suurta, joka aiheutti sen, että dekooderi ei pystynyt pitämään vastaanottamaansa striimiä synkronoituna.

3.1.1 LTE-nettitikut

Testeissä käytettiin kahta erilaista LTE-tikkua; Huawei E398 ja ZTE MF820D (Kuva 3), jotka liitetään USB-väylään. Tietokoneeseen liitettäessä ne tarvitsevat oman yhteysohjelman internetyhteyden muodostamiseen. Huaweiin tikussa on paikka kahdelle ulkoiselle antennille, joilla on mahdollista parantaa signaalia. ZTE:n tikussa ei ole antennille lisäpaikkoja, eikä myöskään muistikorttipaikkaa kuten Huaweiin tikuissa.



Kuva 3. Kuvassa on testeissä käytetyt 4G-tikut ja WLAN-tikku.

Nettitikkuja testattiin vain niitä myyvän operaattorin verkossa, koska laitteiden operaattorikohtaista SIM-lukitusta ei purettu. Näin ollen, koska laitteet eivät ole identtisiä, niiden suorituskykyä ei voi vertailla operaattorikohtaisesti. Verkon suorituskykyä testattiin

avoimen lähdekoodin ohjelmalla iperf (<http://iperf.sourceforge.net/>), jolla testaan TCP- tai UDP-verkon suorituskykyä. Ohjelmaa käytettiin selvittämään kulloisenkin tilanteen rajoitteet verkon suhteen, koska miniCASTER-enkooderi ei itsessään anna tietoja verkon suorituskyvystä. Samoin tarkkailtiin yhteysohjelmistojen статистиikkaa verkon tiedonsiirrossa. Näillä testeillä saatiin suuntaa antavia tuloksia verkon suorituskyvystä testitilanteessa. Pääasiallisena tarkoituksena näillä testeillä oli selvittää, että nettitikut pystyvät sellaisiin nopeuksiin mobiiliverkossa, että voidaan lähettää teräväpiirtovideota.

Testeissä käytettyjen tikkujen liittymät ovat normaaleja liittymiä ja niihin sisältyvät liikenteen priorisointi tai laadunvarmistus. Operaattorit tarjoavat myös tiedonsiirrolle laadunvarmistusta, joka on hyödyllinen palvelu siirrettäessä isoja tietomääriä reaaliajassa ja joissakin tapauksissa välttämätöntä esimerkiksi isoissa urheilutapahtumissa, jossa kaikilla on kännykkä.

Taulukko 3. Taulukossa on Soneran ja Elisan ilmoittamat LTE-tikkujen tekniset ominaisuudet. [14; 15.]

	ZTE MF820D	Huawei E398
Tuetut taajuudet	900/1800/1900/2100/2600 MHz	900/1800/1900/2100/2600 MHz
Nopeudet 2G-verkossa	Vastaanotto 236 kbit/s	Vastaanotto (ei ilmoitettu)
	Lähetys (ei ilm.)	Lähetys (ei ilmoitettu)
Nopeudet 3G-verkossa	Vastaanotto 21,1 Mbit/s	Vastaanotto 42 Mbit/s (DC-HSPA+)
	Lähetys 5,76 Mbit/s	Lähetys 5,76 Mbit/s
Nopeudet LTE-verkossa	Vastaanotto 100 Mbit/s	Vastaanotto 100 Mbit/s
	Lähetys 50 Mbit/s	Lähetys 50 Mbit/s

Taulukossa 3 on esitetty testeissä käytettyjen tikkujen tekniset ominaisuudet. Tiedot ominaisuuksista saatiin operaattoreiden verkkosivuilta [14; 15]. Nettitikkujen ominaisuudet eroavat merkittävästi vain 3G-verkon nopeuksissa, jossa Huaweiin-nettitikun on ilmoitettu pääsevän korkeampiin nopeuksiin vastaanotossa. Lähetysnopeudet eivät eroa toisistaan.

Teknisissä tiedoissa ei valitettavasti mainita mitään niiden antennien ominaisuuksista tai lähetystehoista ja koska nettitikkuja ei käytetty kuin tikkuja myyvän operaattorin verkossa on mahdotonta sanoa, että kumman nettitikun suorituskyky oli parempi. Testeissä havaittiin tosin, että molemmat nettitikut kuumenivat jatkuvassa käytössä ja tämä saattoi vaikuttaa niiden suorituskykyyn.

Nettitikkujen suorituskykyä testattiin konsolipohjaisella iperf-ohjelmalla, jolla simuloitiin UDP-liikennettä, joka lähetettiin samalle palvelimelle, missä videostriimi otettiin vastaan. Testien olennaisin tarkoitus oli saada käsitys verkon suorituskyvystä ennen varsinaista videostriimausta. UDP-liikenne valittiin sen tähden, että varsinainen videostriimaus oli UDP-liikennettä.

Nettitikkujen käyttö

Kytkemällä nettitikun tietokoneeseen voidaan säätää tikun asetuksia. Ne pysyvät tallalla, kun tikku kytketään mihin tahansa laitteeseen tämän jälkeen. Valittavana on 4G ensisijaisena, 4G, 3G ja 2G. Mikäli valittuna on 4G ensisijaisena verkkona tikku vaihtaa automaattisesti eri verkkojen välillä. Yksittäisen verkon ollessa valittuna tikku toimii ainoastaan tässä verkossa.

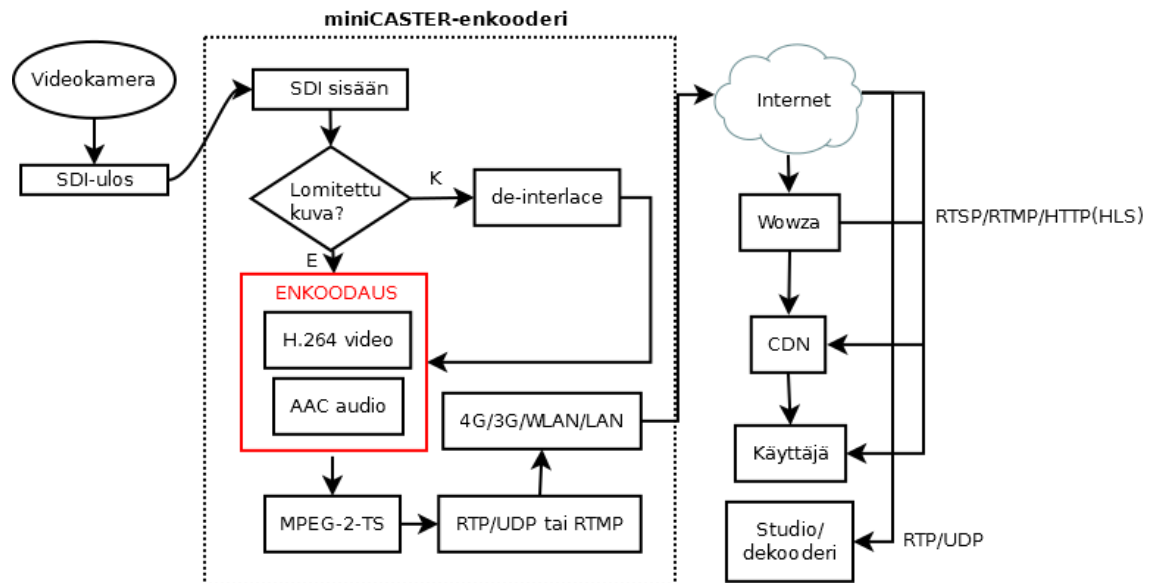
Toinen tärkeä asetus on PIN-koodin kyselyn poisto. Tämän kytkeminen pois helpottaa laitteen käyttämistä muiden laitteiden kuin tietokoneen kanssa. Testeissä käytetyssä miniCASTER-laitteessa. Pitäisi esimerkiksi asettaa PIN-koodi etukäteen ja jos on laittanut PIN-koodin väärin laite saattaa lukita nettitikun käytön, jolloin tarvitaan PUK-koodia. PUK-koodin voi esisyöttää miniCASTER-laitteelle. Tosin sen hyöty on kyseenalainen; jos PIN-koodi on väärin, nettitikku ei saa yhteyttä verkkoon.

3.1.2 miniCASTER® mobiili videoenkooderi



Kuva 4. miniCASTER ja Sony XDCAM EX1-videokamera.

Konseptin enkooderin tehtävää valittiin toteuttamaan miniCASTER-laite. Laite on pienikokoinen videoenkooderi (Kuva 4), jonka tarkoituksena on mahdollistaa reaaliaikainen videon enkoodaus ja enkoodatun videon lähetys LAN-, WLAN-, 3G- tai LTE-verkon yli. Laitteen takana toimiva yhtiö on saksalainen TV1 GmbH ja miniCASTER® on heidän tavaramerkkinsä. Lähettämiseen laite käyttää RTP-protokollaa ja video on MPEG-2-TS-muodossa. Tämä on yleinen standardi videokuvan ja äänen siirtämiseen myös DVB-sovelluksissa. Enkooderin lähettämien MPEG-2-TS-pakettien pituus on 188 tavua, joten virheenkorjausta ei käytetä kuten esimerkiksi DVB-T/C/S-järjestelmissä, jolloin paketin pituus olisi 204 tavua. Virheenkorjauksen puuttuminen saattaa aiheuttaa ongelmia epävarmassa tiedonsiirrossa, mitä langaton tiedonsiirto usein on.



Kuva 5. Kaavio kuvaa reaaliaikaisen videostrimauksen toteutusta videokamerasta verkkoon.

Laittevalmistaja ilmoitti tiedotteessaan 16.3.2012, että se aloitti yhteistyön ZiXi-nimisen yhtiön kanssa, joka tarjoaa virheenkorjausta tiedonsiirtoon miniCASTER-enkooderille. ZiXi:n patentoima tekniikka on FEC-virheenkorjaukseen perustuva ratkaisu. Tiedotteessa ei mainittu tarkemmin, miten virheenkorjaus toteutetaan käytännössä ja mitä mahdollisia lisälaitteita, jos mitään, tekniikan käyttö vaatii.

Laitteen toimintaperiaate tutkimuksen kontekstissa on esitetty kuvassa 5. Kuvasta nähdään, että ensin SDI-signaali vastaanotetaan kameralta miniCASTER-laitteelle, jossa signaali pakataan H.264- ja AAC-koodekilla. Tämän jälkeen striimi kapsuloidaan MPEG-2-TS-striimiksi ja lisätään verkkoprotokollan mukaiset otsikkotiedot. Lopuksi striimi siirretään IP-verkon yli joko palvelimelle tai dekooderille, jossa signaali muunnetaan takaisin esimerkiksi SDI-signaaliksi.

Laitteessa asetusten määrittäminen tapahtuu internetselaimen avulla joko etäyhteydellä tai paikallisella yhteydellä, jolloin yhteys muodostetaan suoraan laitteeseen sen silloisella IP-osoitteella. IP-osoite on nähtävissä laitteen menusta. Paikallinen hallinta edellyttää, että enkooderi ja laite, jolla asetuksia muutetaan, ovat toistensa saavutettavissa, esimerkiksi samassa sisäverkossa. Asetukset voi määrittää etähallinnan kautta kirjautumalla osoitteeseen <http://my.minicaster.com> myös kun laite ei ole liitetty verkkoon. Tällöin asetukset eivät siirry laitteelle, mutta laitteen kytkeytyessä seuraavan

kerran verkkoon asetukset yritetään hakea automaattisesti. Laitteen keskeisimmät asetukset liittyvät enkoodaukseen ja verkkoasetuksiin.

Tässä raportissa testatun laitteen ohjelmistoversio on 1.1.5. Tästä laiteohjelmaversiota lähtien on tuettu mobiiliyhteys videon välittämiseksi verkkoon. Laitevalmistajan testaamat tikut olivat:

- ZTE MF190 / "o2 Prepaid-Surfstick-Colour"
- Huawei E1750 / "o2 Prepaid-Surfstick"
- Huawei E352s-5 / "T-mobile Stick Fusion III"
- 4G-USB-Stick Systems XS Stick W14.

Listassa mainittuja tikkuja ei saatu mukaan testeihin työn aikataulun puitteissa ja mikään operaattori Suomessa ei myy yllä mainittuja nettitikkuja. On myös mahdollista, että kaikki yllä mainitut tikut eivät toimi Suomessa.

Laite ottaa sisään videokuvaa digitaalisesti SDI-, SDI + erillinen ääni tai analogisesti mini-RCA-liitännän kautta. Analogista videosignaalia varten laitteen mukana tulee haaroituskaapeli, jossa ovat normaalit RCA-liittimet. Samasta liittimestä saa joko pelkän äänen SDI-signaalin tueksi tai haaroituskaapelin avulla sekä analogisen videon että stereo-äänen. Digitaalisen SDI-liitännän kautta saadaan paras kuvanlaatu, mutta mikäli lähetettävä video on SD-laatuista, ei SDI-liitännälle ole välttämättä tarvetta.

Laitteen ulkokäytössä tulee ottaa huomioon, että sen luvataan toimivan vain 0-35 °C välillä eikä ilma saa olla kondensoivaa ilmankosteuden ollessa 90 % tai alle. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli laitetta käyttää talvella, se tulee suojata kylmyydeltä alle 0 °C lämpötiloissa.

Sisääntulot

Laitteen pääasiallinen sisääntulo on SDI-liitäntä, jossa kulkee sekä video että äänisignaali. Toissijaisesti voidaan käyttää komposiittiliitäntää, joka toimii ensisijaisesti äänen

sisääntulona kun SDI-liitännän kautta siirretään ainoastaan videosaali. Kuvasta 6 nähdään miten laitteen sisään- ja ulostulojen liitännät ovat sijoitettu.



Kuva 6. miniCASTER-laitteet sisääntulot (ylhäällä) ja ulostulot (alhaalla).

Taulukko 4. miniCASTER-laitteen sisääntulojen tekniset ominaisuudet

Sisääntulo	Tiedot
SD-/HD/3G-SDI	0.8 VP-P, 75 Ohm (BNC, embedded audio support) (SMPTE 259M, SMPTE 292M, SMPTE 424M)
Komposiitti (miniR-CA)	1 VP-P, 75 Ohm

Taulukossa 4 listattujen standardien SMPTE 259M-, SMPTE 292M- ja SMPTE 424M - ominaisuudet kuvasignaalin resoluution suhteen on listattu taulukossa 5. Digitaalisen SDI-liitännän lisäksi laite ottaa vastaan videosaalia aiemmin mainitun 3,5 mm mini RCA-liittimen. Tällöin tarvitaan erillinen haaroituskaapeli, jossa on RCA-liitännät videolle ja stereo äänelle.

Taulukko 5. SDI-sisääntulon ominaisuudet ja standardit

Standardi	Nimi	Bittinopeudet	Videoformaatit

			(esim.)
SMPTE 259M	SD-SDI	270 Mb/s, 360 Mb/s, 143 Mb/s, ja 177 Mb/s	480i, 576i
SMPTE 292M	HD-SDI	1.485 Gbit/s, ja 1.485/1.001 Gbit/s	720p, 1080i, 1080p
SMPTE 424M	3G-SDI	2.970 Gbit/s, ja 2.970/1.001 Gbit/s	1080p

SDI-liitännässä on mahdollista siirtää ääntä samanaikaisesti videon kanssa. Ääni voidaan siirtää myös erillisen 3,5 mm jakkiliitännän kautta. Tällöin ääni yhdistetään enkooderissa videoon. Taulukossa 6 on esitetty, mitä audiostandardeja enkooderin sisääntulot tukevat.

Taulukko 6. Sisääntulevan äänen tekniset tiedot

Sisääntulo	Tiedot
Stereo (mini RCA)	AC coupled, Audio nominal level: -10 dBV (0,316Vrms), Maximum level: 2 VP-P, Microphone nominal level: -60 dBV (1mVrms)
SDI (2-kanavainen embed audio)	SMPTE 272M, SMPTE 299M

Ulostulot

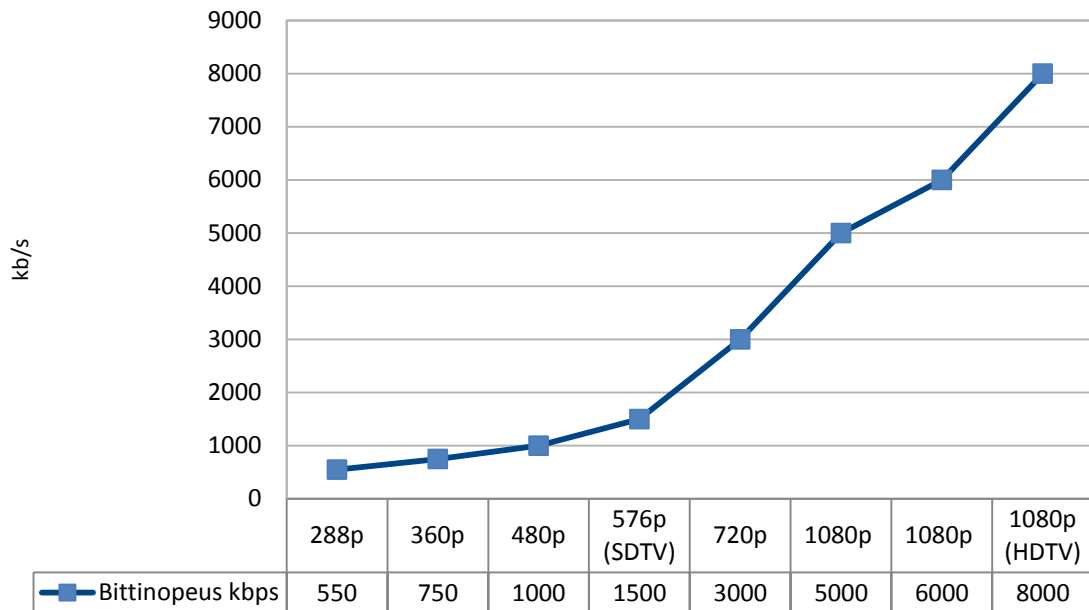
Laitteessa on USB-A-liitäntä (High Speed), 3,5 mm audioliitäntä ja RJ45-ethernetliitäntä (100/10TX). Tiedonsiirrossa voi käyttää sekä USB- että RJ45-liitäntää, mutta ei samanaikaisesti ja Ethernet-yhteys on aina ensisijainen.

USB-liittimen kautta laitteeseen liitetään kaikki mahdolliset langattomat lähettimet. Laitteet tukee WLAN-, 2G-, 3G- ja 4G/LTE-lähettimeä. Mikäli laite ei tue lähetintä, voi yhteyden muodostaa langattomasti, myös liittämällä väliin mobiili- tai WLAN-reitittimen. Reitittimenä voi toimia erillinen tarkoitukseen valmistettu laite tai yhtä hyvin myös tietokone.

Enkoodaus

Laite tuottaa MPEG-2-TS-videostriimiä ISO/IEC 13818-1-standardin vaatimusten mukaisesti, ja se lähetetään RTP-paketteina verkkoon. Siirto on reaaliaikaista toisin kuin esim. TCP/IP-liikenteessä, jossa aina varmistetaan, että tieto tulee perille ja virheen sattuessa pyydetään uudelleenlähetyksi. Uuden ohjelmistopäivityksen (versio 1.3.1) myötä muita mahdollisia lähetys protokollia ovat UDP (ilman RTP-kapselointia) ja RTMP. Enkoodaus ei muutu eri protokollissa.

Video enkoodataan H.264-muotoon standardien MPEG-4 AVC Part 10:n ja ISO/IEC 14496-10:n mukaisesti. Asetuksissa syötettävillä parametreilla on mahdollista asettaa H.264 profiiliksi base, main tai high, tasoksi 1.-4.1 ja bittinopeudeksi 250kb/s-8Mb/s. Videon bittinopeus on tasainen eli CBR (Constant Bitrate), toista kuin VBR (Variable Bitrate), jossa nopeus vaihtelee esim. videossa esiintyvän liikkeen mukaan [16 s.171-172]. Kuvassa 7 esitetään arvio siitä, mikä bittinopeus vaaditaan, että tietty resoluutio saavutetaan. Kuvassa esitetyt resoluutiot ovat kaikki progressiivista H.264-koodattua videota. Kuvassa esitetty bittinopeuden ja resoluution suhde ei tarkoita, että kuva on välttämättä laadukasta. Voidaan sanoa, että millä tahansa resoluutiolla bittinopeutta kasvatetaan myös laatu paranee.



Kuva 7. Käyrä kuvaa tyypillisesti H.264-koodauksella vaadittavaa vähimmäisbittinopeutta eri resoluutioilla.

Audio enkoodataan MPEG-4 AAC -muotoon standardin ISO/IEC 14496-3 mukaisesti. Tuetut näytteenottotaajuudet ovat 16, 22,05, 32, 44 ja 48 kHz:n analogiselle äänelle ja digitaaliselle äänelle 48 kHz, 16:sta bitin näytteenotolla ja bittinopeus on säädettävissä välillä 16-192 kb/s.

3.2 Reaaliaikaisen striimauksen testit

Taulukossa 7 esitellään testeissä käytettyjen videostriimien enkoodausasetukset mini-CASTER-laitteella. Signaali otetaan sisään digitaalisena HD-SDI-signaalina ja ulostuleva video on progressiivista, ja sen resoluutio on korkeintaan 1920x1080 pikseliä ja kuvanopeus 25 kuvaa sekunnissa, eli lyhyesti 1080p/25. Taulukossa nähdyt asetukset asetetaan laitteen selainpohjaisessa hallintasovelluksessa. Hallinta tapahtuu Internet-selaimen avulla <http://my.minicaster.com>-palvelun kautta. Paikallisesti laitteen asetuksia pääsee muuttamaan sen IP-osoitteen avulla. Erityisesti huomioitavaa taulukossa 7 on videon ja audion bittinopeus. Ne muodostavat yhdessä MPEG-2-TS-pakettien otsikkotietojen ja RTP-, UDP- ja IP-protokollien otsikkotietojen kanssa kokonaisbittinopeuden. Eli ilmoitetut videon ja audion bittinopeudet eivät sisällä muuta kuin videon ja audion. MiniCASTER-laitteen valmistaja ilmoittaa, että laite tuottaa tasaista CBR-

tyyppistä striimiä, mutta ainakin kuormitustestien havaintojen perusteella bittinopeuden vaihtelut olivat enimmillään noin 2 Mb/s

Taulukko 7. Taulukossa esitellään käytännön kokeissa käytettyjen videoiden asetukset.

	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3	Tapaus 4	Tapaus 5	Tapaus 6
Video						
Leveys, px	512	640	1024	1280	1280	1920
Korkeus, px	288	360	576	720	720	1080
Bittinopeus, kb/s	512	700	1400	1000	3000	5000
Kuvanopeus, fps	25	25	25	25	25	25
Enkoodaus (H.264)						
profiili	main	main	main	main	high	high
taso	3.1	3.1	3.1	3.1	4.1	4.1
Audio						
Bittinopeus, kb/s	64	64	96	64	128	192
tila	stereo	stereo	stereo	stereo	stereo	stereo

Testien tarkoitus oli toteuttaa asetettu tutkimustavoite, eli siirtää reaaliaikaisesti videostriimiä LTE-, 3G- ja WLAN-verkon yli. Jokaista taulukossa 7 esitettyä tapausa testattiin mainituissa verkoissa.

3.2.1 Videostriimin lähetys WLAN-verkon yli

WLAN-verkossa lähetettyä videota testattiin IEEE 802.11g- ja IEEE 802.11n –standardin mukaisissa verkoissa. Molempien verkkojen osalta käytettiin pääasiassa 2.4 GHz taajuutta, WLAN-tikkuna toimi Cisco AE 1000, joka tukee myös 5 GHz:n taajuutta. Yhdessä testissä testattiin myös siirtoa 5 GHz:n taajuudella.

WLAN-yhteyden muodostaminen toimii parhaiten niin, että yhteyden asetukset tehdään etukäteen miniCASTER-enkooderin selainpohjaisen hallinnan kautta. WLAN-yhteysprofiileja voi olla laitteeseen tallennettuna useita kerrallaan ja laitteen valikosta voi valita, mitä profiilia kentällä käyttää. WLAN-tikku kiinnitettiin miniCASTER-laitteen USB-porttiin (kuva 8), josta laite saa virtansa. Tikku kytkeytyi verkkoon automaattisesti, mikäli WLAN-yhteydelle oli määritelty profiili valmiiksi. Kytkeytyminen WLAN-verkkoon kesti keskimäärin noin muutaman minuutin, mikä on melko pitkä aika.

WLAN-verkossa suurin ongelma oli, että liikuttaessa kameran kanssa signaali heikkenee nopeasti, kun etäisyys tukiasemaan kasvaa.



Kuva 8. miniCASTER, jossa on Cisco AE1000 WLAN-tikku kiinni USB-väylässä ja Sony XDCAM EX1 videokamera liitetty SDI-sisääntuloon.

3.2.2 Videostriimin lähetys 3G-verkon yli

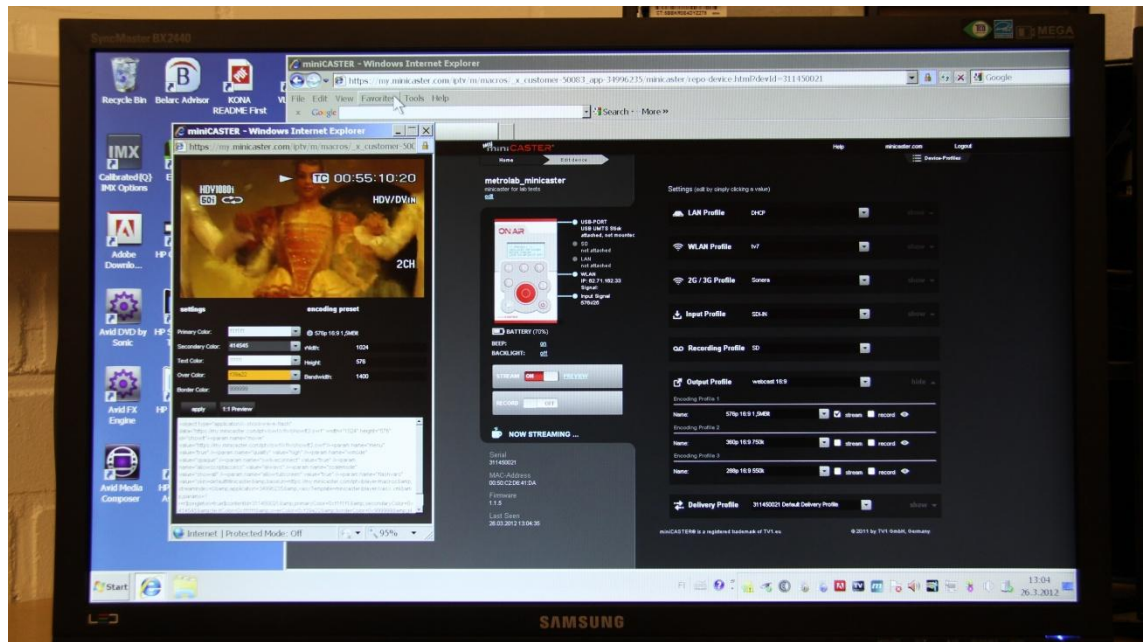
Testissä lähetettiin reaaliaikaisesti videokuvaa miniCASTER-laitteen kautta 3G-verkkoon (kuva 9). Videokuva otettiin videonauhurista ja kamerasta. Joista molemmista saatiin teräväpiirtokuvaa ulos. Käytetty nettitikku oli ZTE MF820D, joka toimi Soneran 3G-verkossa. Nettitikusta oli kytketty PIN-koodin kysely pois päältä, jotta se ei tuottaisi ongelmia yhteydenmuodostusvaiheessa. Ainoa asetus, joka miniCASTER-laitteeseen asetettiin yhteyden muodostamista varten, oli operaattorin APN-osoite, joka Soneran tapauksessa on Internet. Laitteella voi asettaa yhteydelle muitakin asetuksia: tarvittaessa voidaan asettaa APN-osoitteen lisäksi käyttäjänimi, salasana, PIN-koodi ja PUK-koodi.

Ulostuleva videostrimi lähetettiin TV1.eu:n CDN-verkkoon, jonka kautta strimi oli katsottavissa suoraan selainpohjaisen hallinnan kautta Flash-alustalla käytettävällä mediasoittimella. Toisessa tapauksessa strimi lähetettiin Wowzan striimauspalvelimelle, josta video välitettiin eteenpäin loppukäyttäjälle.



Kuva 9. Kuvassa on miniCASTER, jonka USB-väylässä on ZTE MF820D-nettikku ja kuva tulee Sony HDV-nauhurista, Sony STE monitorin kautta kierrätettynä SDI-signaalina. (Nauhuri ei näy kuvassa.)

Kuvassa 9 nähdään oikealla videokuvan esikatselunäyttö, josta SDI-kaapelia pitkin sama signaali siirrettiin miniCaster-laitteelle vasemmalla. MiniCASTER-laitteessa SDI-signaali muunnettiin MPEG-2-TS-strimiksi ja lähetettiin USB-portissa olevalla nettitikillä 3G-verkon yli internetiin. Kuvan tapauksessa sisään tuleva signaali oli lomitettua, mutta enkooderi muuttaa sen progressiiviseksi.



Kuva 10. Kuvassa (vasemmalla) on striimin vastaanotto Flash-pohjaisella mediasoittimella ja miniCASTER-laitteen selainpohjainen hallinta (oikealla).

Kuvassa 10 kuvassa näkyy 3G-verkon yli lähetetyn videon vastaanotto. Kuva saapuu noin 3-5 sekunnin viiveellä. Striimausta testattiin neljällä eri asetuksella. Samalla selvitettiin, mikä on suurin bittivirta millä video tuli luotettavasti läpi. Hyvissä olosuhteissa saatiin striimattua noin 1,5 Mb/s videostriimiä. Tätä suuremmissa nopeuksissa (esim. taulukon 7 tapaus 5 kuva) ja ääni alkavat pätkiä. Välillä kuva myös pysähtyy kokonaan.

Ongelmat 3G:n ja miniCASTERin kanssa

Striimaustesteissä miniCASTER ei syystä tai toisesta aina tunnistanut tikkua 3G-modeemiksi, tai tunnistus kesti hyvin kauan. Tämä ja kaikki muutkin ongelmat saattavat osaltaan johtua siitä, että testattu tikku ei ollut laitevalmistajan testaama ja suosittelema. Tämä ei kuitenkaan selitä kaikkia ongelmia. Osa selittyyneen laitteen ohjelmiston puutteellisella kyvyllä käsitellä mobiiliyhteyden liittyviä poikkeustilanteita. Seuraavaksi kuvatut ongelmat havaittiin laitteen ohjelmistoversion ollessa 1.1.5 ja testattu nettitikku oli Soneran ZTE MF820D. Elisan HUAWEI E383 -tikkua testattiin myös, mutta sitä laite ei tunnistanut.

Nettitikussa on mahdollista asettaa verkon valinta 2G-, 3G- ja 4G-verkon välillä automaattiseksi. Tämä aiheutti kuitenkin sellaisen ongelman, että laitteen USB-portti sammui, jos modeemi yritti muodostaa yhteyttä 4G-verkkoon. Vikatilanteesta toipuminen kestää reaaliaikaiseen lähetykseen liian pitkään. Laitteen valmistajalle lähetettiin viasta raportti. Laitevalmistaja vastasi törmänneensä samaan ongelmaan 4G-tikkujen kanssa. Valmistaja ilmoitti syyksi 4G-yhteyden muodostuksessa tarvittavan suuremman jännitteen, johon laite reagoi katkaisemalla USB-portista virran määräajaksi suojellakseen elektroniikkaa.

Mikäli laite kytkeytyi 3G-verkkoon, mutta yhteys oli niin huono, että se välillä katosi, miniCASTER kadotti nettitikun eikä osannut tunnistaa sitä modeemina uudelleen ja palauttaa yhteyttä. Tällöin nettitikku tuli poistaa USB-portista ja kytkeä uudelleen. Jos laite sittenkään toipunut laite piti käynnistää uudelleen. Tässä tapauksessa laite ei siis katkaissut virtaa USB-portilta. Tämä ongelma on merkittävä, koska se aiheuttaa reaaliaikaiseen striimauksen pitkän katkon.



Kuva 11. Kuva vastaanotopäässä, kun verkon suurin mahdollinen siirtonopeus ylitetään.

Kuva 11 esittää ongelmaa, joka tapahtuu jos striimiä lähetetään liian suurella bittinopeudella verkon kapasiteettiin nähden. Koska striimi on CBR-tyyppistä, se ei mukaudu bittinopeuden vaihteluihin, jolloin vastaanotopäässä paketeista tulee perille vain osa ja

kuva puuroutuu. Verkon kapasiteetti on hyvä testata ennen lähetyksen aloittamista jotta kuvan 10 kaltaisilta ilmiöiltä vältytään.

3.2.3 Videostriimin lähetyks 4G-verkon yli

Striimattaessa 4G verkon yli mikään miniCASTERin asetuksissa ei muutu, mikäli vain operaattori on sama. Laitteessa on kuitenkin iso ongelma, kun tikku yrittää yhdistää 4G-verkkoon. Silloin nettitikku tarvitsee hetkellisesti laitteesta enemmän virtaa kun laite pystyy antamaan ja varotoimena USB-portti kytkeytyy pois päältä. Testeissä tehtiin tästä syystä 4G:n osalta testit niin, että nettitikku kytkettiin kannettavaan ja miniCASTER kannettavan LAN-porttiin. Nettitikun internetyhteys jaettiin LAN-portille, jolloin miniCASTER kytkeytyi verkkoon kannettavan välityksellä. Yhtä hyvin välissä voisi olla myös mobiilireititin, johon miniCASTER voidaan kytkeä.



Kuva 12. miniCASTER striimaa 4G-verkkoon kannettavan tietokoneen välityksellä Sony XDCAM EX1-videokamerasta.

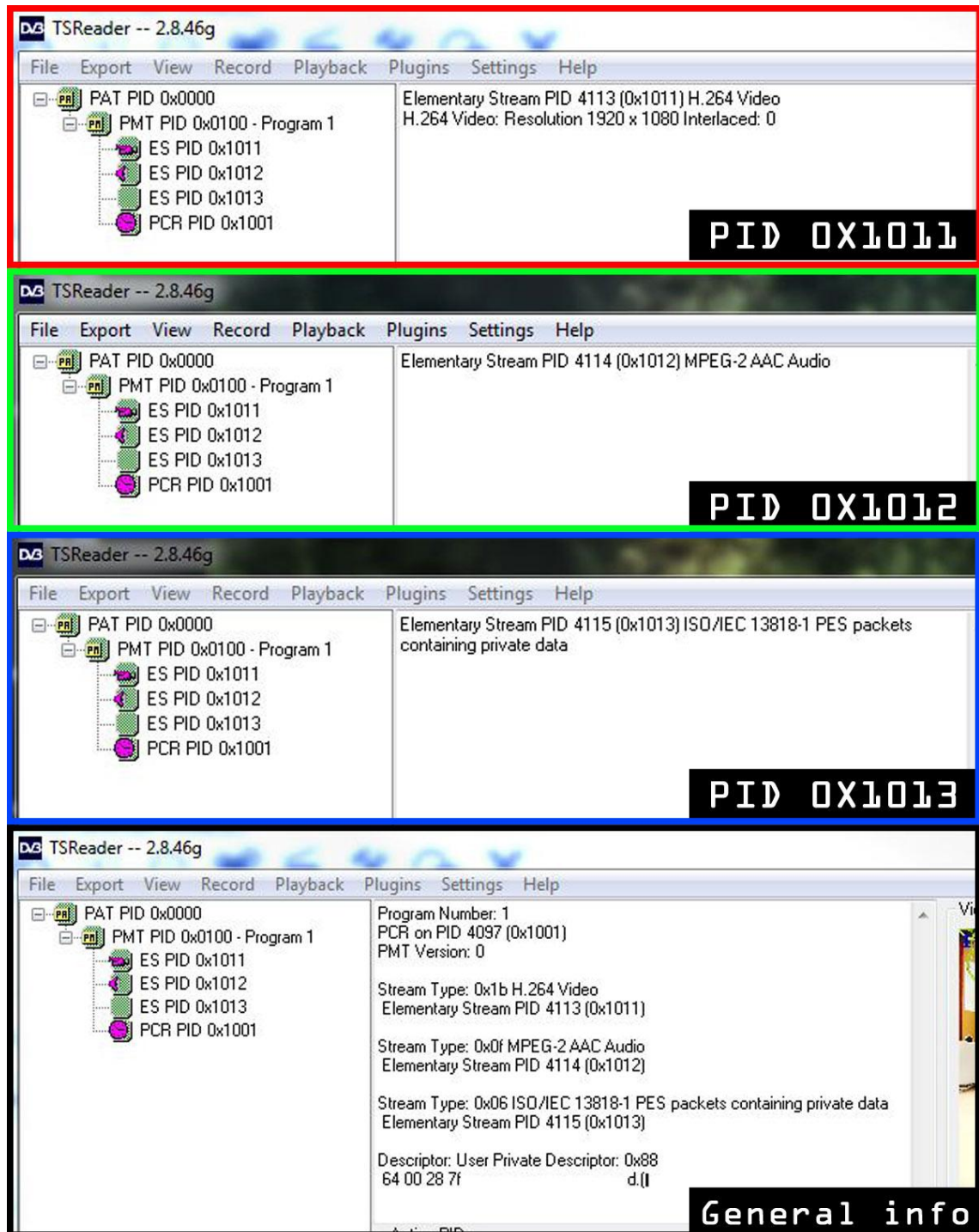
Tämä ratkaisu (Kuva 12) ei ole liikuteltavuudeltaan paras mahdollinen, kun nettitikku ei ollut kiinni suoraan enkooderissa. Enkooderin Ethernet-yhteys osoittautui kuitenkin vakaaksi ja mahdollisti lisälaitteiden kautta hyvissä olosuhteissa teräväpiirtotason

reaaliaikaisen videostriimin lähetyksen 4G-verkon yli. Parhailaan yhteys oli päätelaitteelta tukiasemaan yli 20 Mb/s, mutta enkooderin suorituskyky tuli tässä vastaan, sillä enkooderilla ei voinut lähettää yli 6 Mb/s striimiä.

3.2.4 Videostriimin analysointi TSReader-sovelluksella

Striimiä analysoitiin myös maksullisella TSReader-sovelluksella versio 2.8.46g, joka vastaanotti striimiä suoraan miniCASTER-laitteelta UDP-paketteina tai RTP-paketteina, jotka myös tulevat UDP-pakettien sisällä. Sovellus näyttää MPEG-2-TS-striimin tiedot mm. bittinopeudesta, virheistä ja TS-pakettien rakenteesta ja niiden sisällöstä. Testeissä striimi lähetettiin käyttäen UDP-protokollaa ja porttia 1234. Kaikki liikenne tapahtui sisäverkossa, joten miniCASTERin, ja vastaanottavan tietokoneen välinen yhteys oli vakaa.

Laitteelta lähetetyn striimin enkoodausasetukset on esitetty taulukossa 7, jossa esitellään testeissä käytettyjen videostriimien asetukset tapauksittain. Tässä testissä käytettiin tapausta numero 6.



Kuva 13. miniCASTER-enkooderin tuottaman MPEG-2-TS-striimin tietoja TSReader ohjelmalla luettuna.

Kuvasta 13 nähdään mistä miniCASTER-enkooderin tuottama MPEG-2-TS-paketti koostuu. Paketti sisältää yhden TV-ohjelman, jonka PID on 0x1001 ja sen sisällä on kolme ohjelmaan liittyvää striimejä (ES, Elementary Stream), joissa yhdessä on video (PID

0x1011), toisessa ääni (PID 0x1012) ja kolmannessa PES-paketit (PID 0x1013), joiden sisältöä ei tarkemmin ole tiedossa. Alimmaisen PMT (Program Map Table) –taulun kentässä kuvassa 13 näkyy tiedot PCR (Program Clock Reference) –paketista, jonka ansiosta dekooderi voi pitää videon ja äänen synkronoituna.

TSReader ohjelmalla huomattiin, että miniCASTER-enkooderin tuottama striimi ei ole täydellistä CBR-striimiä, eli striimiin ei lisätä ylimääräisiä paketteja bittinopeuden ta-
saamiseksi. Tästä rajoitteesta voitaisiin vapautua asettamalla multipleksointilaite (Multiplexer) striimin vastaanottopäähän ennen dekooderia, joka lisäisi ylimääräisiä paketteja striimiin.

3.3 Reaaliaikaisen videostriimin vastaanotto Wowza Media Server -sovelluksella

Reaaliaikaisen videon vastaanotto vaatii tuen MPEG-2-TS-videostriimille ja RTP/UDP-pakettien vastaanotolle. Käyttötapauksena voisi olla uutistiedotteen vastaanotto studiolle. Tällöin video halutaan usein ottaa vastaan dekooderilla jolloin video muutetaan takaisin SDI-muotoon ja siirretään osaksi lähetystä. Tästä tapauksesta ei saatu toimivaa testiä aikaiseksi, sillä testatut dekooderit eivät osanneet ottaa miniCASTER-laitteen tuottamaan videostriimiä vastaan, todennäköisesti niiden tiukkojen CBR-vaatimusten takia. Tämän takia otsikko on myös rajattu Wowza Media Server-palvelin asennukseen.

Videostriimi otetaan vastaan palvelimelle, jossa videosta tehdään eri versiot eri alustoille esimerkiksi iPadi:lle, Microsoft Silverlight- ja Flash-soittimelle. Eri versioita käsitellään tarkemmin puhuttaessa videon siirtämisestä loppukäyttäjälle. On mahdollista välittää striimi Wowza-palvelimelta dekooderille.

3.3.1 Wowza Media Server -asennus

Wowza Media Server on ohjelmisto, jolla voidaan hoitaa mm. videostriimin vastaanotto, salaus, dekooodaus ja lähetys CDN:n kautta loppukäyttäjälle. Ohjelmisto vaatii toimiakseen Oraclen Java-ympäristön, eli JRE:n (Java runtime environment). Striimauksen kannalta tärkeä ominaisuus on myös nk. dynaaminen striimaus, jossa lähetään useaa erilaatuista striimiä, jolloin voidaan adaptoitua loppukäyttäjän verkko-olosuhteiden vaihteluun. Tässä raportissa ei syvennyttä dynaamiseen striimaukseen.

Ohjelmistosta käytetty versio tässä raportissa on Wowza Media Server 3.0.5 build 1220 64-bittinen versio. Käyttöjärjestelmä on Debian Linux (64-bittinen Ubuntu Server 10.04.3 LTS). JRE:n on oltava myös 64-bittinen, koska käyttöjärjestelmä ja ohjelmisto ovat 64-bittisiä. Seuraavaksi käydään läpi asennus pääpiirteissään. Asennus on käyty tarkemmin läpi liitteessä 1.

3.3.2 Wowza-palvelimen konfigurointi miniCASTER striimin vastaanottoon

Palvelimen konfigurointi, joka on tarkemmin selostettu liitteessä 2, on myös suurelta osin yleispätevä MPEG-TS-striimin vastaanottoon muillakin enkoodereilla, kun kyseessä on Wowza-palvelin.

Vastaanotto aloitetaan luomalla Wowza-palvelimelle sovellus, joka käytännössä on vain XML-asetustiedosto, joka määrittää mitä Wowzan ominaisuuksia käytetään. Asetustiedoston asetusten määrittäminen on suurin osa palvelimen konfigurointia sovelluksen osalta.

3.3.3 Videon vastaanotto loppukäyttäjällä

Videon vastaanotto loppukäyttäjällä vaatii aina jonkin rajapinnan, jolla video toistetaan. Usein tämä on jonkinlainen mediasoitin; joko oma ohjelma käyttöjärjestelmän sisällä tai selaimen lisäosan kautta toimiva. Mobiililaitteet ovat myös oma lukunsa ja niitä varten tarvitaan omat striiminsä, koska niiden suorituskyky on rajallinen verrattuna tavanomaiseen tietokoneeseen.

Seuraavassa vaiheessa videostriimi välitetään joko sisältöverkkoon tai loppukäyttäjälle. Tässä raportissa käytettiin *Wowza Media Server* -ohjelmaa videostriimin välittämiseksi loppukäyttäjälle. Selainpohjainen asiakassovellus toimii Flash-pohjaisella videosoittimella; tämä sovellus siis vastaanottaa ja näyttää lopullisen videon internetiselaimessa. Testeissä käytetty videosoitin oli JW Player -versio 5.9 (<http://www.longtailvideo.com>). Selainpohjaisen asiakassovelluksen lisäksi videostriimin vastaanottoa testattiin VLC-mediasoittimella ja iPod-laitteella. Jokaisella alustalla videostriimi otettiin vastaan hie- man eri tavalla.

Vastaanotto internetiselaimella JW Player 5.9 -flashvideosoittimella

Videon vastaanottoon nettiselaimella tarvitaan video-soitin, joka toistaa videon loppukäyttäjän koneella. Vastaanottoprotokolla on testissä RTMP, mutta myös HTTP on mahdollinen protokolla. Esimerkiksi Applen mobiilipäätelaitteet eivät tue RTMP-protokollaa. Tämä johtuu siitä, että Applen mobiililaitteet eivät tue Flash-pohjaista video-soitinta ja RTMP-protokolla on alun perin kehitetty Adoben myöhemmin ostaman Macromedian toimesta. [19.]

Videon toistuminen riippuu loppukäyttäjän tietokoneen kokoonpanosta, Flash-soittimen versiosta ja sen asetuksista, verkkoyhteyden laadusta ja enkoodauksesta. Vähimmäisvaatimukset määräytyvät kulloinkin lähetettävän videostriimin mukaan. Esimerkiksi teräväpiirtovideon lähetys vaatii nopean verkkoyhteyden ja usein teräväpiirtovideo on myös tiiviisti pakkautua H.264-koodekilla, joka vaatii suorituskykyä tietokoneen prosessorilta.

```
<script type='text/javascript' src='jwplayer.js'></script>

<div id='mediaplayer'>What</div>

<script type="text/javascript">
jwplayer('mediaplayer').setup({
  'flashplayer': 'player.swf',
  'id': 'mediaplayer',
  'dock': 'true',
  'width': '480',
  'height': '294',
  'controlbar': 'bottom',
  'file': 'mpegts.stream',
  'streamer': 'rtmp://83.216.14.165/live'
});
</script>
```

Kuva 14. JW Player -soittimen käyttöön tarvittava koodi HTML-dokumentissa.

Kuva 14 esittää, miten JW Player -soittimen asetukset pitää asettaa, jotta videostriimiä voidaan vastaanottaa. Keltaisella on korostettu vastaanoton kannalta olennaisimmat asetukset file ja streamer. Videostriimi otetaan siis vastaan Wowza-palvelimelta käyttäen RTMP-protokollaa.

Huomioitavaa asetuksissa on, että vaikka soittimelle on määritelty koko (480x294 px), tämä ei vaikuta videon resoluutioon. Resoluutio kuvaa siis vain HTML-sivulla esitetävän ruudun kokoa, videosoitin ei siis muuta lähteen resoluutiota. Mediasoitin voidaan laittaa kokoruutuun, jolloin video venytetään kuvasuhteen mukaan koko ruudulle. On myös mahdollista estää skaalaus kokoruudun tilassa lisäämällä asetuksiin parametrilla stretching: none. Tällöin kuvaa ei venytetä.



Kuva 15. Kokoruudun tilassa oleva JW Player, vastaanottaa striimiä, jonka resoluutio on 720p.

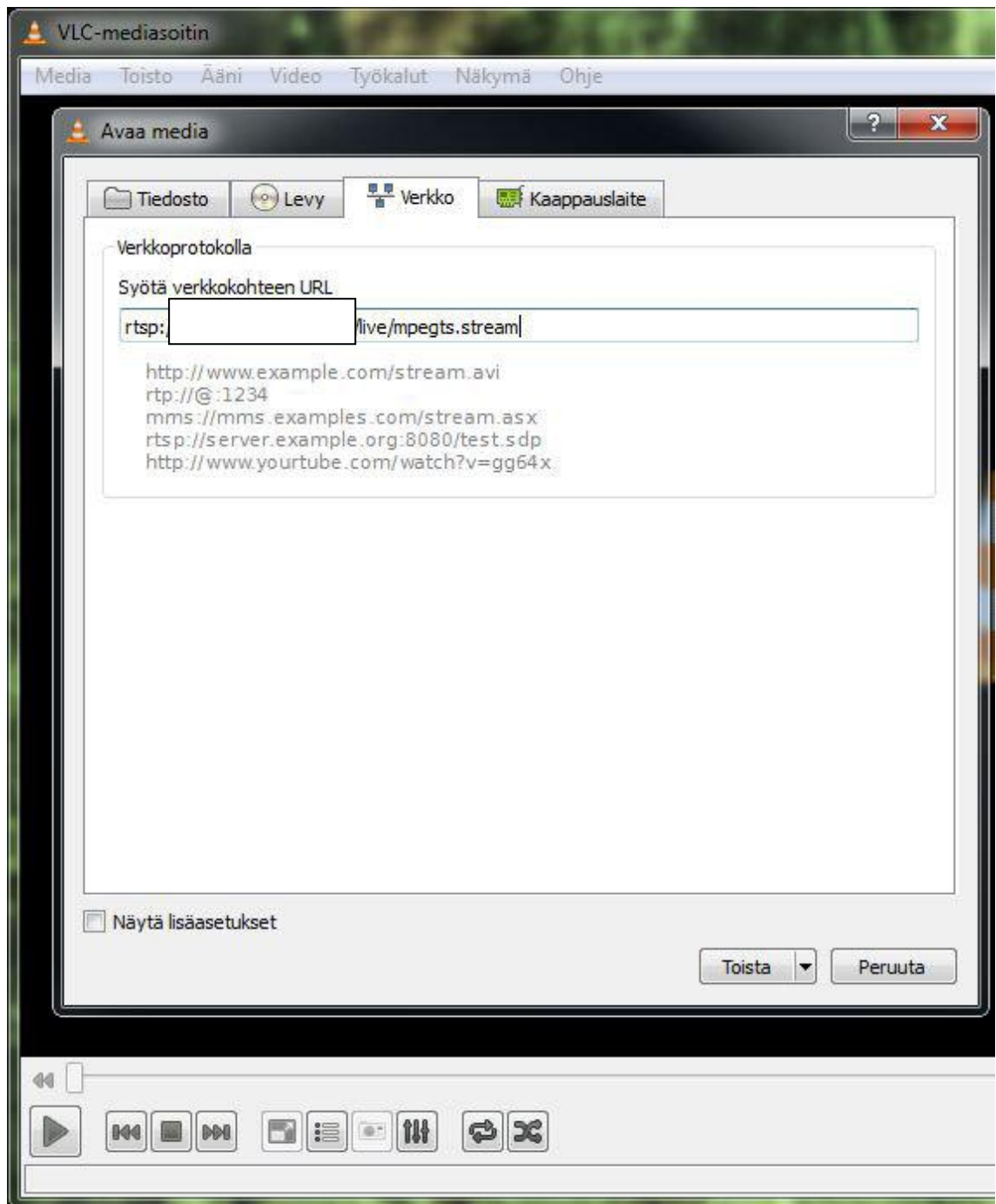
Kuvassa 15 JW Player-mediasoitin on kokoruudun tilassa ja se näyttää kuvaa, joka on kierrätetty Wowza-palvelimen kautta. Kuva on heikompaa teräväpiirtolaatua, jota kaupallisilla termeillä kutsutaan HD ready-kuvaksi. Tämä video on verkon yli katsottavaksi jo todella laadukasta ja monella kotikäyttäjällä internetyhteyden nopeus saattaisi tuottaa ongelmia tämän kaikkine otsikkotietoinen yli 3 Mb/s striimin katsomisessa.

Vastaanotto VLC-mediasoittimella

VLC on Video LAN-organisaation vapaan lähdekoodin (eng. Open Source) multimedia-soitin. VLC-soittimella voidaan vastaanottaa videota suoraan miniCASTERilta RTP-protokollan yli tai sitten Wowza-palvelimen kautta RTSP-protokollan kautta. Ensimmäinen tapaus on helppo tapa testata miniCASTERia lähiverkossa, jolloin on helpompaa sulkea pois tiedonsiirrossa tapahtuvat virheet ja testata enkooderin suorituskykyä. Sil-

loin miniCASTER lähettää striimiä suoraan vastaanottavan tietokoneen IP-osoitteeseen, jossa VLC-soitin on.

Avataan VLC-mediasoittimen päävalikosta: *Media > Avaa media*. Valitaan RTP- vai RTSP-protokolla vastaanottoon. Kuvasta 16 voidaan nähdä RTSP-protokollaan liittyvät tiedot testin tapauksessa. RTP-protokollan osalta merkitään samaiseen kenttään vain *rtsp://@:1234*, mikä tarkoittaa, että striimiä vastaanotetaan oman koneen IP-osoitteella ja ainoa määriteltävä asetus näin ollen on portti josta videostriimiä otetaan vastaan. Porttinumero voi toki olla jokin muu kuin 1234 ja sama porttinumero tulee asettaa miniCASTER-laitteelle. Striimiä ei siis vastaanoteta Wowza-palvelimelta kuten RTSP:n tapauksessa.



Kuva 16. VLC-soittimen perusasetukset RTSP-striimin vastaanottoon.

Vastaanotto Applen iPod Touch -laitteella

Applen laitteilla videostriimin vastaanottoon käytetään HTTP Live Streaming -protokollaa ja erityistä indeksitiedostoa, joka kertoo striimin tiedot. Tämä protokolla tukee MPEG-2-TS-striimiä, jossa video on pakattu H.264-kodekilla ja ääni AAC-kodekilla.

Jotta iPod Touch voi toistaa striimiä, striimin täytyy olla H.264 enkoodattua ja H.264-enkoodauksen pakkaustaso saa olla maksimissaan tason 3.0 mukaista. Mikäli jokin näistä asetuksista ei täyty, laite ilmoittaa, että se ei pysty toistamaan striimiä.

Kuvasta 17, voidaan nähdä millä asetuksilla miniCASTER-enkooderi tuotti MPEG-2-TS-striimiä, jotta sitä voitiin vastaanottaa iOS-käyttöjärjestelmää käyttävällä laitteella, tässä tapauksessa iPod Touch. Striimi pitää kuitenkin vielä segmentoida, jotta sitä voidaan ottaa vastaan iOS-laitteella. Striimin segmentoinnin, eli kuvan 19 Stream Segmenter –toiminnosta, vastaa Wowza-palvelin, joka luo segmentit ja indesointitiedoston segmenteille.

Liitteessä 2, kohdassa 3 määritellään Wowza-palvelimen striimaus-sovellukselle, minkä tyyppisiä striimejä sovellus transkoodaa. HTTP -striimiä tuottaa *cupertinostreaming*-asetus. Ilman Wowza-palvelinta iOS-laite ei pysty vastaanottamaan suoraan miniCASTER-enkooderin tuottamaa striimiä.

Create profile [cancel](#)

Name *: iPod touch 16:9

Video

Width *: 480

Height *: 270

Video Bandwidth *: 200

Framerate *: 25

Keyframeinterval *: AUTO

h.264

h.264 Profile *: BASELINE

h.264 Level *: 3.0

Audio

Bandwidth *: 96

Audio mode *: stereo

Compatibility

iPod: no

iPhone: yes

iPad: yes

Common Mobile Devices: no

Make Available on all Devices

* required fields

save new

Kuva 17. Asetukset iPod Touch-laitetta varten miniCASTER-enkooderille

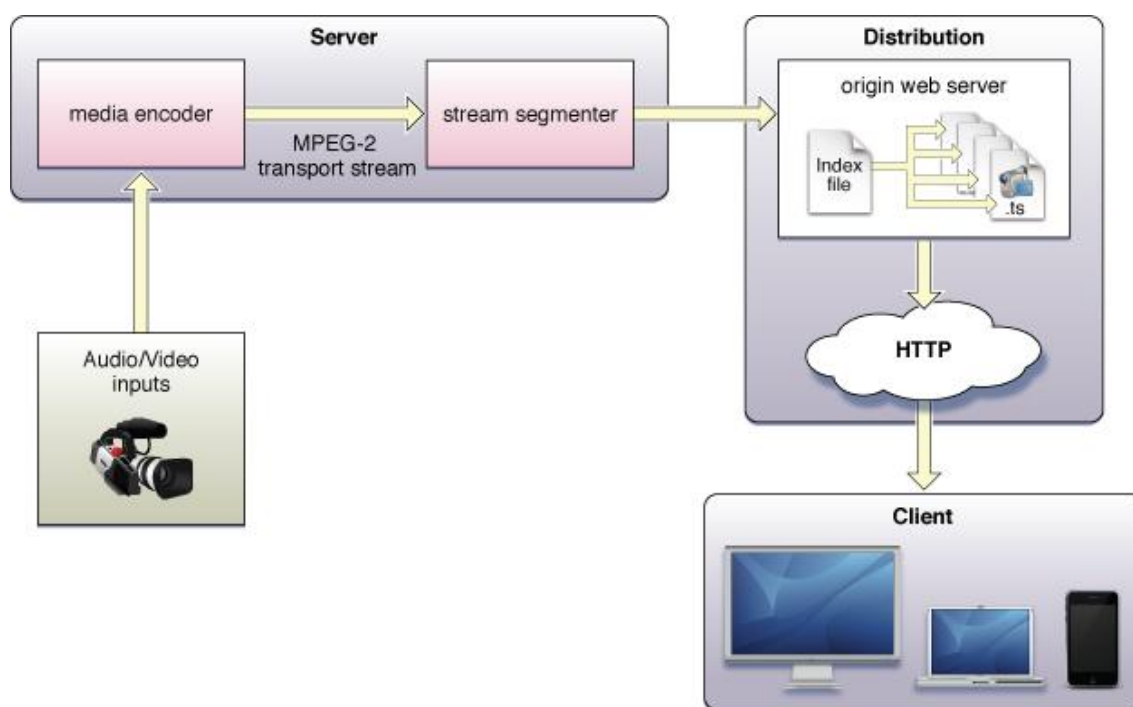
Asetukset iOS-laitteelle voidaan asettaa jo enkooderilla, kuten kuvassa 17, mutta video voidaan myös transkoodata vasta esimerkiksi Wowza-palvelimella, mikäli halutaan lähettää samaa striimiä useampaan eri kohteeseen.

Striimin vastaanotto tapahtuu syöttämällä päätelaitteelle osoite, joka viittaa edellä mainittuun striimiin indeksitiedostoon. Indeksitiedosto on .m3u8-soittolistatiedosto. Testissä striimi vastaanotettiin syöttämällä osoite Wowza-palvelimelle, iPod Touch-laitteen selaimen osoiteriville [http://\[wowza-media-server\]/live/mpegts.stream /playlist.m3u8](http://[wowza-media-server]/live/mpegts.stream/playlist.m3u8). Tämän jälkeen, jos striimi täyttää edellä mainitut tekniset vaatimukset, laite avaa mediasoittimen ja aloittaa striimin toistamisen (Kuva 18). [20.]



Kuva 18. iPod Touch vastaanottaa Wowza-palvelimelta tulevaa striimiä

Applen laitteet joissa on asennettuna iOS 3.0 tai sitä uudempi versio voivat vastaanottaa tätä MPEG-2-TS-striimiä HTTP-protokollan välityksellä. Striimiä voi vastaanottaa myös Safari-internetselaimella, jonka versio on 4.0 tai uudempi. [20.]



Kuva 19. HTTP-striimauksen peruskonfiguraatio. [20.]

4 Yhteenveto ja tulevaisuudennäkymät

Tutkimuksessa päästiin tavoitteisiin ongelmista huolimatta. Testeihin valitulla laiteistolla onnistuttiin toteuttamaan reaaliaikainen videostriimi suoraan videokamerasta LTE-, 3G- ja WLAN-verkon yli. Konsepti todettiin myös kustannustehokkaaksi tavaksi toteuttaa esimerkiksi uutislähetysten osia suoraan live-lähetykseen.

Enkooderiksi valittu miniCASTER-laite, johon video otettiin vastaan kameralta ja striimattiin sitten eteenpäin, osoittautui hyväksi ja mielenkiintoiseksi valinnaksi. Laite on selkeästi kuitenkin vasta kehitysvaiheessa ja kaikki ominaisuudet, eivät toimi vielä luotettavasti. Suurimmat haasteet liittyivät enkooderin verkko-ominaisuuksiin USB-portin kautta. ZTE MF820D -nettitikulla striimi saatiin toimimaan suoraan enkooderissa 3G-verkossa. LTE-verkkoa ei saatu toimimaan suoraan laitteessa vaan se jouduttiin reitittämään lisälaitteen, tässä tapauksessa kannettavan kautta, jotta yhteys saatiin toimimaan.

Käytännön testejä tehtiin runsaasti tavoitteiden saavuttamiseksi. Testeissä todettiin, että kaikilla testatuilla verkkotekniikoilla on mahdollista siirtää teräväpiirtokuvaa hyvissä olosuhteissa langattomasti ja reaaliaikaisesti. Palvelun laadun varmistamiseksi testeissä käytetty laitteisto ei välttämättä aina riitä. Silloin täytyy turvautua lisäantenneihin, useamman yhteyden yhtäaikaiseen käyttöön ja liikenteen priorisointiin. Erityisesti edellä mainitut laadunvarmistukseen liittyvät toiminpiteet ovat tarpeen, kun halutaan lähettää laadukasta kuvaa suoraan studioon dekooderille.

Verkkotekniikat kehittyvät jatkuvasti ja ne tarjoavat tutkimuksessa esitetyle konseptille uusia mahdollisuuksia ja mahdollistavat laadukkaamman striimin päätelaitteen ominaisuuksien puitteissa. Tätä tutkimusta tehdessä tarjolla oli LTE-tekniikka, joka tarjoaa 100 Mb/s downlink-suuntaan ja 50 Mb/s uplink-suuntaan. Tulevaisuudessa LTE Advanced -tekniikka nostaa downlink-nopeuden jopa 1 Gb/s ja uplink-nopeuden 100 Mb/s. Tulevaisuuden näkymät ovat siis hyvät, enkoodeiden kehittyessä ja yleistyessä, hintaa laskee todennäköisesti alaspäin, ja suorituskyky paranee.

Lähteet

- [1] A. Kumar. 2007. Mobile TV: DVD-H, DMB, 3G Systems and Rich Media Applications. USA: Focal Press. ISBN 13: 978-0-240-80946-5.
- [2] H. Benoit. 2008. Digital television: satellite, cable, terrestrial, iptv, mobile tv in the dvb framework. Third Edition. USA: Focal Press. ISBN: 978-0-240-52081-0.
- [3] F.Khan. 2005. "A Time-Orthogonal CDMA High-Speed Uplink Data Transmission Scheme for 3G and Beyond". *Communications Magazine, IEEE, Volume 43, issue: 2, s.88-94.*
- [4] H. Holma, A. Toskala. 2009. LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA based radio access. Iso-Britannia: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6.
- [5] IEEE Std 802.11-2012. 2012. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. E-ISBN: 978-0-7381-7211-8. Saatavissa: <<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6178209>>
- [6] J.S. Klujic, M.R. Radivojevic. 2009. Testing of multimedia content transmission in wireless 802.11n network (s.552-555). IEEE. Verkkodokumentti. <<http://ieeexplore.ieee.org/>>. E-ISBN: 978-1-4244-4383-3. Luettu 11.5.2012.
- [7] H. Holma, A. Toskala. 2010. WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE (Fifth Edition). Iso-Britannia: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0-470-87096-6. ISBN: 978-0-4706-8646-1.
- [8] H. Holma, A. Toskala. 2004. WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications (Third Edition). Iso-Britannia: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0-470-87096-6.
- [9] Jim,Zyren & Dr. Wes, McCoy. 22.6.2007. White paper: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer. Freescale. Document number: 3GPPEVOLUTIONWP. Rev 0. Saatavissa: <<http://www.freescale.com>>.
- [10] H. Holma, A. Toskala. 2011. LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced. Iso-Britannia: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-66000-3.
- [11] J. Keith. 2005. Video Demystified: A Handbook for the Digital Engineer (Fourth Edition). USA: Newnes. ISBN: 0-7506-7822-4.

- [12] Walter, Fisher. 2010. Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A Practical Engineering Guide. New York: Springer. ISBN: 978-3-642-11611-7.
- [13] ITU-T Recommendation H.264 – Advanced video coding for generic audiovisual services. 2011. Verkkodokumentti. <<http://www.itu.int/rec/T-REC-H.264-201106-S>>. ITU-T.
- [14] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjøntegaard, A. Luthra. 2003. "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard". *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. vol. 13*. s.560-576.
- [15] G. J. Sullivan, P Topiwala, A. Luthra. 2004. The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions. Verkkodokumentti. <<http://www.fastvdo.com/spie04/spie04-h264OverviewPaper.pdf>>. Luettu 13.5.2012
- [16] D. Austerberry. 2005. The Technology of Video & Audio Streaming (Second Edition). USA: Focal Press. ISBN: 0-240-80580-1
- [17] Huawei E398. Verkkodokumentti. <<http://oma.elisa.fi/yrityksille/verkkokauppa/#!/internet/mobililaaajaista4g-premium-huawei398>>. Luettu 17.3.2012.
- [18] ZTE MF820D. Verkkodokumentti. <<https://kauppa.sonera.fi/yksityisille/raatali/raatali-puhelin.aspx?broadbandKey=489>>. Luettu 17.3.2012.
- [19] Real Time Messaging Protocol. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Messaging_Protocol>. Luettu 28.4.2012.
- [20] HTTP Live Streaming Overview: HTTP Streaming Architecture. Verkkodokumentti. <<http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/networkinginternet/conceptual/streamingmediaguide/HTTPStreamingArchitecture/HTTPStreamingArchitecture.html>>. Luettu 2.4.2012

Wowza Media Server-ohjelmiston asennus ja peruskäyttö

1. Ladataan asennuspaketti osoitteesta <http://www.wowza.com/pricing/installer>
2. Avataan komentokehote (vain graafiselle käyttöliittymälle) ja syötä seuraava komennot:
 1. `sudo chmod +x WowzaMediaServer-3.0.5.deb.bin` (annetaan ladatulle binääritiedostolle suoritusoikeudet)
 2. `sudo ./WowzaMediaServer-3.0.5.deb.bin` (suoritetaan asennus)
3. Kun asennus on mennyt loppuun, käynnistetään Wowza Media Server seuraavalla komennolla:
 1. `cd /usr/local/WowzaMediaServer/bin`
 2. `./startup.sh` (Mikäli ohjelma käynnistetään, komentokehotteeseen ei voi syöttää komentoja tällä aikaa.)
4. Käynnistyskerran ollessa ensimmäinen ohjelma pyytää lisenssiavainta. (Ohjelma toimii ilman lisenssiä täysillä ominaisuuksilla kuukauden)
5. Ohjelma voidaan pysäyttää seuraavilla komennoilla:
 1. `cd /usr/local/WowzaMediaServer/bin`
 2. `./shutdown.sh`

Jotta ohjelmaa voidaan käyttää taustalla, jolloin komentorivi on myös käytössä, pitää ohjelma käynnistää palveluna esimerkiksi seuraavalla komennolla:

```
/etc/init.d/WowzaMediaServer start
```

Ohjelman lopettaminen tapahtuu seuraavalla komennolla:

```
/etc/init.d/WowzaMediaServer stop
```

miniCASTER:n TS-striimin välitys Wowza Media Server-sovelluksella

Luodaan application kansio:

1. [asennuskansio]/applications/live
2. Luodaan asetuskansio:
 - a. [asennuskansio]/conf/live ja kopioi [asennuskansio]/conf/Applications.xml tiedosto edellä luotuun kansioon.
3. Muokataan edellä kopioitua **Application.xml** tiedostoa ja tehdään siihen seuraavat muutokset
 - a. Asetetaan **Streams/Streamtype** asetuksen arvoksi live:

```
<StreamType>live</StreamType>
```
 - b. Asetetaan **HTTPStreamers** arvoksi: *cupertinostreaming, smoothstreaming, sanjosestreaming*

```
<HTTPStreamers> cupertinostreaming, smoothstreaming, sanjosestreaming </HTTPStreamers>
```
 - c. Asetetaan **Streams/LiveStreamPacketizers** arvo: *cupertinostreamingpacketizer, smoothstreamingpacketizer, sanjosestreamingpacketizer*

```
<LiveStreamPacketizers> cupertinostreamingpacketizer, smoothstreamingpacketizer, sanjosestreamingpacketizer </LiveStreamPacketizers>
```
 - d. Asetetaan **RTP/Authentication/PlayMethod** arvoksi *none*

```
<PlayMethod>none</PlayMethod>
```
4. Muokataan [asennuskansio]/conf/publish.password -tiedostoa ja lisätään käyttäjä ja salasana julkaisu-oikeuden valvomiseksi. (Katso esimerkki alla.)

```
# Publish password file (format
```

```
[username] [space] [password])  
# username password  
myuser mypassword
```

5. Luodaan ja avataan [asennuskansio]/content/mpegts.stream tiedosto ja kirjoitetaan ensimmäiselle riville: `udp://0.0.0.0:10000` (Asetus tarkoittaa sitä, että kaikkia paikallisia verkkoportteja tarkkaillaan mahdollisen saapuvan striimin varalta, portti määrittää sitä, millä portilla pitäisi ottaa yhteyttä palvelimeen)

6. Avataan `my.minicaster.com` ja asetetaan laitteeseen palvelimen asetuksia vastaavat lähetysasetukset (*Broadcast Settings*).

```
Host: [wowzan-osoite]  
Delivery Mode: RTP  
Port: 10000
```

7. Käynnistetään *Wowza Media Server*:

```
root@palvelin:# service WowzaMediaServer start
```

8. Jotta enkooderi lähettää, on lähetys (Stream) käynnistettävä. Mikäli lähetys onnistuu, laitteen ON-AIR-valo on punainen ja sama tieto pitäisi näkyä myös laitteen etähallinnassa:

Input signal on aktiivinen.

Now Streaming... tilaviesti

9. Wowzassa pitää vielä käynnistää Stream Manager ja sieltä aikaisemmin luotu sovellus live. (Tähän liittyvät asiat koskevat myös yleisesti MPEG-TS striimin vastaanottoa Wowzassa.)

10. Asetetaan salasana ja käyttäjänimi tiedostoon [asennuskansio]/conf/admin.password käyttäen tekstieditoria.

```
# Admin password file (format [username] [space] [password])  
# username password  
myuser mypassword
```

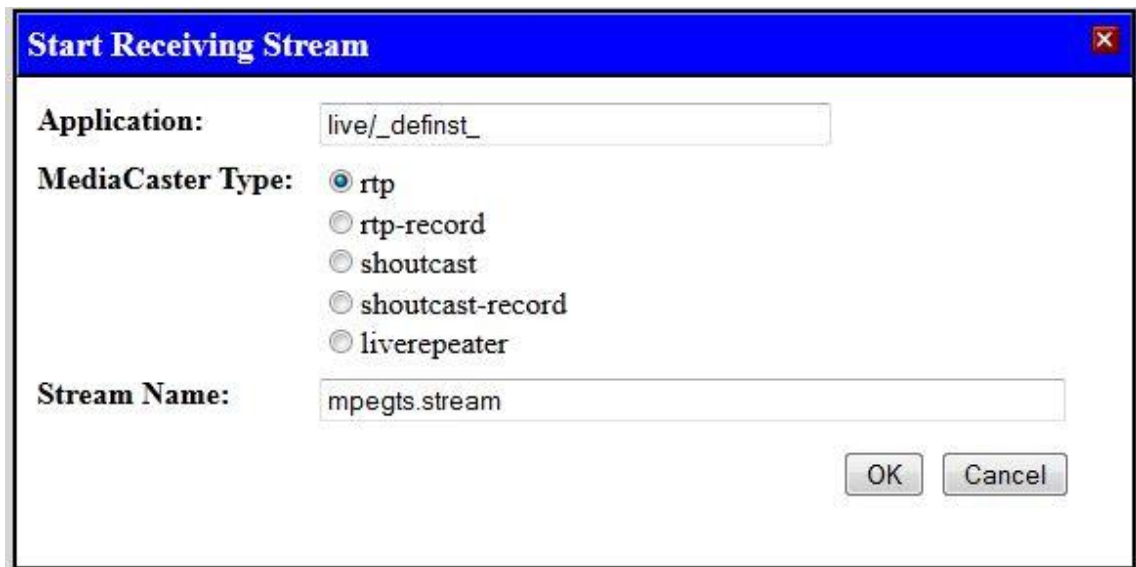
11. Käynnistetään *Wowza Media Server*.



Kuva 20. Stream Manager – Sisään tulevien striimien vastaanoton hallinta.

12. Käynnistetään striimi **Stream Managerilla (Kuva 20)**

- a. Avataan selain osoitteessa *http://[wowza-osoite]:8086/streammanager*
- b. Syötetään aiemmin asetettu *käyttäjätunnus* ja *salasana*.



Kuva 21. Dialogi, joka avautuu Stream Managerissa, kun painetaan applikaation nimen alla olevaa linkkiä [start receiving stream].

- c. Painetaan [start receiving stream]-linkkiä applikaation `live/_definst_` alla (Kuva 21).
- d. Valitaan asetuksen **MediaCaster**-tyypiksi: `rtp` (Kuva 21)
- e. Syötetään striimin nimi `mpegts.stream` **Stream Name** -kenttään ja painetaan OK. Tällöin applikaatio ilmoittaa, jos vastaanoton aloittaminen onnistui (kuva 22).



Kuva 22. Stream Manager –applikaation asetukset striimin vastaanottoon on onnistuneesti asetettu.