

Roope Kivioja

Suoratoisto ja vertaisverkkopohjainen suoratoisto

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

28. huhtikuuta 2016

Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitos

Tekijä: Roope Kivioja

Yhteystiedot: rosakivi@student.jyu.fi

Ohjaaja: Hannakaisa Isomäki

Työn nimi: Suoratoisto ja vertaisverkkopohjainen suoratoisto

Title in English: Streaming and peer-to-peer based streaming

Työ: Kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 22+0

Tiivistelmä: Tässä tutkielmassa perehdytään suoratoistoon ja sen tekniseen perustoteutukseen. Lisäksi vertaillaan erilaisia tapoja toteuttaa suoratoisto; pääpainona vertaisverkkopohjaisten suoratoistosovellusten vertailu muihin toteutustapoihin. Tavoitteena oli tutkia kirjallisuuskatsauksen avulla erilaisia toteutusvaihtoehtoja sekä puntaroida niiden hyviä ja huonoja puolia. Katsauksen perusteella suoratoiston toteutus on vielä voimakkassa murrostilassa ja erilaiset teknologiat kilpailevat keskenään. Paremmuusjärjestystä eri toteutustapojen välillä on vaikea määrittää. Vertaisverkkopohjaisten suoratoistosovellusten laajempi käyttöönotto on mahdollista, mutta se vaatii vielä lisää kehitystyötä. Pilvipalvelut ja hybridimallit ovat hinnastaan huolimatta tasapainoisimpia vaihtoehtoja suurille käyttäjämäärille tarkoitettujen suoratoistosovellusten pohjaratkaisuiksi.

Avainsanat: suoratoisto, vertaisverkot, puskurointi

Abstract: This thesis takes a look at streaming and the basic technical principles behind it. In addition, this thesis compares the different technologies that are in use in common streaming applications and especially streaming applications that use peer-to-peer networks. The goal was to employ a systematic literature review approach to research these different technologies and weigh their upsides and downsides. According to this research, streaming applications are still in a state of fast evolution and different technologies compete heavily with each other. It is hard to determine which one is the best. Using peer-to-peer networks more widely is pos-

sible, but the technology still needs more refining. Cloud services and hybrid models are currently the most balanced technologies for building streaming applications despite their cost.

Keywords: streaming, peer-to-peer-networks, buffering

Kuviot

Kuvio 1. Mukaelma algoritmista 'Microsoft Smooth Streaming Algorithm' 7

Sisältö

1	JOHDANTO	1
1.1	Suoratoiston maailmanvalloitus	1
1.2	Tutkielman tarkoitus ja käytetyt menetelmät	2
2	SUORATOISTON KÄSITTEET JA YLEINEN TOIMINTAPERIAATE	3
2.1	Suoratoiston keskeisiä käsitteitä	3
2.2	Suoratoiston toimintaperiaate ja erot osasiirtämiseen	4
3	SUORATOISTO VERTAISVERKOSSA	8
4	VERTAISVERKKOPOHJAINEN SUORATOISTO VERRATTUINA MUI- HIN TOTEUTUSTAPOIHIN	10
4.1	Vertaisverkkopohjainen suoratoisto verrattuna asiakas-palvelin-malliseen suoratoistoon.....	11
4.2	Vertaisverkkopohjainen suoratoisto verrattuna pilvipalveluihin ja muihin edistyneisiin toteutustapoihin	12
5	YHTEENVETO	14
	KIRJALLISUUTTA	16

1 Johdanto

Internetin räjähdysmäisen leviämisen ja internetyhteyksien nopeuksien voimakkaan kasvun myötä on syntynyt uusia tapoja jakaa tietoa silmänräpäyksessä maailmanlaajuisesti. Vanhojen analogisten tiedonsiirtomenetelmien rinnalle on syntynyt tehokas digitaalinen verkko, joka on mullistanut tiedonsiirron valtaville ihmismassoille ympäri maapalloa. Raa'an tekstidatan lisäksi myös kuvien, äänten ja videon välittäminen nopeiden yhteyksien yli on kasvanut merkittävästi tämän vuosituhannen aikana.

1.1 Suoratoiston maailmanvalloitus

Suoratoisto on vallannut alaa sekä musiikin, että videotiedostojen välittämiseen perinteisemmältä osasiirroilta. Suosittuja suoratoistopalveluita ovat esimerkiksi YouTube, Spotify ja Netflix. Merkittävistä kotimaisista palveluista ovat televisioyhtiöiden perustamat suoratoistopalvelut YLE Areena, Ruutu ja Katsomo.

Suoratoistoa on alettu hyödyntämään myös suorien lähetysten viemiseksi internetiin. Nykyisin lähes jokainen televisiokanava on katseltavissa ilmaiseksi tai maksua vastaan internetin kautta suoratoistolähetystenä toteutettuna. Lisäksi on tarjolla runsaasti palveluita, joissa suoratoistolähetysten tekeminen onnistuu helposti ilman syvällistä teknistä tietämystä. Tällaisia palveluita ovat esimerkiksi pelilähettyksiin keskittyvä Twitch.tv ja Youtuben käyttäjilleen tarjoama suorien lähetysten välittämiseen tarkoitettu suoratoistopalvelu.

Iso osa internetin suoratoistosta on toteutettu perinteiseen tapaan asiakas-palvelinmallia hyödyntäen. Tämä vaatii merkittävästi palvelinresursseja, joten viimeisen kymmenen vuoden aikana on syntynyt laaja joukko vaihtoehtoisia toteutustapoja. Vertaisverkkopohjainen suoratoisto ei ole ainakaan vielä noussut merkittäväksi vaihtoehdoksi asiakas-palvelin-mallisen suoratoiston sekä suurten toimijoiden suosimien pilvipalvelupohjaisten suoratoistoratkaisujen rinnalle. Tuoreessa alan kirjallisuudessa todetaankin tämän teknologian olevan vielä varsin nuorta (Zhanikeev

(2014)), joten sen tarkastelu on houkutteleva ajatus.

1.2 Tutkielman tarkoitus ja käytetyt menetelmät

Tässä tutkielmassa perehdytään suoratoistoon ja sen tekniseen perustoteutukseen. Erityinen huomio tutkimuksessa kiinnittyy vertaisverkkopohjaisten suoratoistosovellusten tarkasteluun. Tutkimuksessa myös pohditaan vertaisverkkopohjaisten suoratoistosovelluksien vahvuuksia ja heikkouksia asiakas-palvelin-mallisiin sovelluksiin, pilvipalvelimilla toteutettuihin sovelluksiin sekä hybridimallisiin sovelluksiin verrattuna. Tutkimuksessa tarkastellaan erityisesti reaaliaikaisten suoratoistolähetysten toteutusta.

Ensimmäisessä luvussa perehdytään suoratoistoon yleisellä tasolla ja esitellään kolme erilaista tapaa toteuttaa se. Toisessa luvussa perehdytään vertaisverkkoihin ja tarkastellaan niiden ominaisuuksia suoratoiston toteutuksessa. Kolmannessa luvussa vertaillaan vertaisverkkopohjaisen suoratoiston etuja ja haittoja asiakas-palvelin-mallisiin sovelluksien, pilvipalvelimilla toteutettuihin sovelluksien sekä hybridimallisten sovelluksien etuihin ja haittoihin.

Tutkimusmetodiksi valittiin systemaattinen kirjallisuuskartoitus. Kirjallisuuden kartoitukseen käytettiin pääosin Jyväskylän yliopiston JYKDOK-tietokantaa ja Google-hakukonetta.

2 Suoratoiston käsitteet ja yleinen toimintaperiaate

Suoratoisto on kohtalaisen uusi tulokas tietotekniikan maailmassa, joten sen termistö ei vielä ole kovinkaan vakiintunutta ja osalle englanninkielisistä termeistä ei ole yleisessä käytössä olevia suomenkielisiä vastikkeita. Onkin siis hyvä ensiksi lyhyesti selvittää, mitä eri termeillä tässä tutkielmassa tarkoitetaan suoratoistoa ja sen toteutusta käsitellessä sekä käydä läpi termien englanninkieliset vastineet.

2.1 Suoratoiston keskeisiä käsitteitä

Suoratoistolla (eng. streaming) tarkoitetaan tiedonsiirtotapaa, jossa multimediasisältöä aletaan esittää loppukäyttäjälle välittömästi tiedonsiirron alettua. (Jarvinen (2002))

Multimedialähetys voidaan luokitella kolmeen eri ryhmään: täsmälähetys (eng. unicast), ryhmälähetys (eng. multicast) ja yleislähetys (eng. broadcast). Ryhmälähetyksessä lähettäjä lähettää lähetystä useammalle vastaanottajaksi ilmoittautuneelle asiakkaalle kerrallaan. (van der Schaar ja Chou (2011)) Tässä tutkielmassa näistä erilaisista lähetystavoista keskitytään pääosin ryhmälähetykseen.

RTSP (Real Time Streaming Protocol), RTP (Real-time Transport Protocol) ja RTCP (RTP Control Protocol) ovat lähetyksien toteutuksessa käytettäviä sovelluskerroksen tietoliikenneprotokollia. Näiden suosio on kuitenkin laskenut mukautuvan tiedonsiirtonopeuden suoratoiston myötä.

Puskuri (eng. buffer) on välimuisti, johon tieto tallennetaan ladatessa tiedostoa käyttä varten. Puskurin käyttö mahdollistaa suoratoiston.

Suoratoiston lähettäminen voidaan jakaa lähetystyyppin lisäksi karkeasti kahteen eri alalajiin: VOD (Video on demand) ja yleislähtettäminen (eng. broadcasting). VOD tarkoittaa multimediaa, jonka toiston aloittamisen ja kulun käyttäjä voi vapaasti valita. VOD-palveluita ovat mm. Youtube ja Netflix. Yleislähetykset ovat taas multimediaa, jonka toistosta määrää lähettäjä. Tällaisia ovat esimerkiksi perinteiset tele-

visiokanavat.

2.2 Suoratoiston toimintaperiaate ja erot osasiirtämiseen

Perinteisesti multimediaa on internetin yli liikuteltu pääosin osasiirtämisellä. Osasiirtämisessä asiakas lataa koko tiedoston itselleen ennen sen toistamisesta. Kyseessä on varsin yksinkertainen ja luotettava tapa siirtää tietoa internetissä, mutta siihen liittyy kaksi merkittävää heikkoutta: lataukseen tarvitaan suuri puskuri ja latauksessa saattaa kestää pitkiä aikoja (van der Schaar & Chou (2011)). Tämä rajoittaa osasiirron käyttömahdollisuuksia merkittävästi, minkä takia tarvitaan notkeampia tiedonsiirtometodeja.

Suoratoisto perustuu verkossa lähetettävän datan jaksottaisuuteen. Internetin yli tapahtuvassa suoratoistossa tiedostot jaetaan osatiedostoiksi (eng. chunk) ja nämä osatiedostot lähetetään internetin yli IP-paketteina. Näin vastaanottajan ei välttämättä tarvitse odottaa tiedoston loppua (eng. EOF, end of file) ennen kuin tiedoston toistaminen voi alkaa. Tiedoston toistaminen onnistuu niin kauan aikaa, kun puskurista löytyy aina seuraava osatiedosto toistettavaksi. (van der Schaar & Chou (2011))

Suoratoisto tarjoaa siis perinteisempään osasiirtoon verrattuna huomattavasti matalamman viiveen lataamisen ja toistamisen välille. Tämä on erityisen tärkeää VOD-palveluille ja internetin yli lähetettäville yleislähetyksille. Suoratoistosovellukset eivät kuitenkaan ole joka suhteessa ylivoimaisia osasiirtoon verrattuna vaan niillä on omat rajoituksensa, jotka liittyvät etenkin lähetyksenopeuksiin ja aikarajoihin.

Suoratoisto voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri ryhmään viiveen siedon perusteella. Interaktiiviset sovellukset kuten vaikkapa videopuhelut tai pelit eivät siedä kovinkaan suurta viivettä, joten niille maksimaalinen viive on suunnilleen 200 millisekuntia. Toinen ääripää on ei-interaktiiviset yleislähetykset kuten vaikkapa nettiradiot, joiden normaalia toimintaa ei esimerkiksi 30 sekunnin viive haittaa laisinkaan. Näiden välissä on joukko sovelluksia, joille vähäinen viive ei ole eilinehto, mutta niissä on silti jonkin verran interaktiivisuutta. Monet selaimessa toimivat videosovellukset kuuluvat tähän joukkoon. (van der Schaar & Chou (2011)) Tässä kohdin

on myös huomattava, että vaikka monet lyhyen viiveen interaktiiviset sovellukset teknisesti käyttävätkin suoratoistoa, niin niistä ei arkikielessä usein puhuta suoratoistosovelluksina.

Suoratoistosovelluksille voidaan tehdä toinen jaottelu pakkaustyyppin perusteella: pakkaus voidaan suorittaa joko verkossa tai sen ulkopuolella. Verkossa suoritettuna pakkauksen etuna on se, että yhteyden tasoa voidaan valvoa ja pakkausta säätää sen mukaisesti. Verkon ulkopuolella tapahtuvat pakkauksen hyvä puoli taas on mahdollisuus optimointiin materiaalin perusteella.

Verkossa suoritettuna pakkauksen avulla voidaan harjoittaa niin sanottua "mukautuvan tiedonsiirtonopeuden suoratoistoa"(eng. ADP, adaptive bitrate streaming). Aikaisemmin moni suoratoistopalvelu käytti RTSP- ja RTP-protokollia, mutta mukautuvan tiedonsiirtonopeuden suoratoiston myötä suurin osa nykyisistä suoratoistosovelluksista on siirtynyt käyttämään HTTP-protokollaa (Akshabi, Begen ja Dvorolis (2011)). Kuten edellä mainittiin, mukautuvan tiedonsiirtonopeuden suoratoisto pyrkii tarkkailemaan vastaanottajan kaistanleveyttä ja pakkaamaan lähetettävän materiaalin sen vaihteluiden mukaisesti.

Kuviossa 1 on esimerkki mukautuvan tiedonsiirtonopeuden suoratoistossa käytettävistä algoritmeista (1). Algoritmi on mukaelma Microsoftin Smooth Streaming -algoritmista (Famaey, Latre, Van de Meerse, Vleeschauer, Van Leekwijck ja De Turck (2013)). Algoritmi arvioi puskurin kokoa ja tekee päätökset pakkauksen laadusta sen mukaisesti. Algoritmi käyttää kolmea raja-arvoa: alempi raja-arvo L , ylempi raja-arvo U ja paniikkiarvo P . Algoritmin tarkoituksena on taata katkeamaton toisto ja mahdollisimman korkea kuvanlaatu.

Pilvipalvelut ovat looginen jatkumo asiakas-palvelin-mallisille sovelluksille resursivaatimusten kasvaessa. Pilvilaskennan ideana on se, että perinteisen palvelimen sijaan palvelun tarjoaa joukko palvelimia, jotka muodostavat niin sanotun hajautetun ympäristön. Näin palvelun kuormansietokyky paranee, skaalautuvuus muuttuu helpommaksi ja palvelun rakenteesta voidaan tehdä modulaarisempi. Huonona puolena on kustannusten kasvu. Ulkoisesti pilvipalveluna toteutetun suoratois-

tosovelluksen ei tarvitse erota perinteisestä asiakas-palvelin-mallisesta suoratoisto-sovelluksesta vaan erot löytyvät palvelinpuolelta. (Hassan (2011))

```

tila = PUSKUROI;
while (SegmenttejaLadattavana)
{
    if (tila == PUSKUROI)
    {
        if (PuskuriPienenee || PuskuriMuuttuuHitaasti) Rajoita muutos yhteen laatutasoon;
        q = Laske laatu kaistanleveyteen perustuen;
        if (puskuri >= U + L/2) tila = VAKAA;
    }
    else if (tila == VAKAA)
    {
        if(puskuri loppu)
        {
            q = 0;
            tila = PUSKUROI;
        }
        else if (edellinen lataus oli myöhässä) q = q - 1;
        else if (puskuri < P)
        {
            q = 0;
            tila = PUSKUROI;
        }
        else if (PuskuriMuuttuuHitaasti)
        {
            if (puskuri < L) q = q - 1;
            else if (puskuri > U) yritetään laskea laatua;
        }
        else if (PuskuriPienenee && (puskuri < L))
        {
            q = 0;
            tila = PUSKUROI;
        }
        else yritetään nostaa laatua;
    }
    Ladataan laadulla q;
}

```

Kuvio 1. Mukaelma algoritmista 'Microsoft Smooth Streaming Algorithm'

3 Suoratoisto vertaisverkossa

Vertaisverkot ovat jo suhteellisen pitkään olleet vaihtoehto perinteisemmälle asiakas-palvelin-malliselle tiedonsiirrolle. Suurin vertaisverkkoihin liittyvä kohina medias- sa liittyi piratismiin kasvuun 2000-luvun taitteessa, mutta noiden päivien jälkeen suurin meteli asian ympärillä on hiljalleen laantunut. Osatekijänä tähän on kehityneempien suoratoistosovellusten rynnistys markkinoille, mikä on tehnyt piratismista vähemmän houkuttelevaa (BGR (2014)).

Vertaisverkoksi kutsutaan verkkoarkkitehtuuria, jossa osallistujat jakavat osan oman tietokonelaitteistonsa suoritustehosta yhteiseen käyttöön, tämä yhteiseen käyttöön tarkoitettu suoritusteho on kaikille osallistujille avointa ja mikä tahansa osallistujista voidaan poistaa verkosta ilman, että verkko lakkaa toimimasta (Schollmeier (2002)). Vertaisverkon vahvuudet verrattuna etenkin perinteiseen asiakas-palvelin-malliin ovat jo määritelmän perusteella helposti johdettavissa.

Vertaisverkkojen käytön suurin hyöty ovat jaetut resurssit. Vertaisverkkoja käytetään hyvin monenlaisiin sovelluksiin, mutta tässä tutkielmassa keskitytään vertaisverkkojen käyttöön suoratoistosovelluksissa. Suoratoistosovelluksissa palvelinkustannukset ovat erittäin merkittävässä roolissa, joten jaettujen resurssien vertaisverkot näyttävät houkuttelevalta vaihtoehdolta asiakas-palvelin-mallisten sovellusten rinnalle.

Vertaisverkkoja on olemassa kolmea eri tyyppiä: järjestämättömät vertaisverkot, hybridimalliset vertaisverkot ja järjestetyt vertaisverkot. Järjestämättömät vertaisverkot ovat näistä kaikista yksinkertaisimpia: asiakkaat muodostavat yhteyksiä toisiensa välille täysin satunnaisesti. Yksinkertaisuudestaan huolimatta järjestämättömät vertaisverkot kärsivät useista ongelmista. Näitä ovat esimerkiksi rajoittunut skaalautuvuus, pidempi haku-aika ja korkeammat ylläpitokustannukset. (Filali (2011))

Hybridimallisissa vertaisverkoissa osa verkosta (yleensä verkon keskeinen osa) on järjestetty ja osa verkosta määräytyy satunnaisesti. Hybridimallisissa vertaisverkoissa verkon jäsenet on yleensä järjestetty rengasmuotoon, jossa järjestetty osa muo-

dostaa verkon rengasmaisen rungon ja järjestämätön osa rakentuu sen ympärille. Tämä vähentää hakuajoja ja helpottaa vertaisverkon ylläpitoa. (Filali (2011))

Järjestetyissä vertaisverkoissa verkon jäsenet on asetettu selkeään topologiaan, mikä mahdollistaa nopean tiedonhaun. Järjestäminen on kuitenkin haastavaa, jos vertaisverkkoon liittyy tai siitä lähtee paljon jäseniä. (Filali (2011))

Suoratoiston kannalta oleelliset vertaisverkot ovat järjestämättömät vertaisverkot ja hybridimalliset vertaisverkot. Suoratoistossa vertaisverkkoon liittyvien ja siitä pois lähtevien asiakkaiden määrä on niin suuri, että järjestetty vertaisverkko ei ole tähän tarkoitukseen sopiva. Yksi käytössä oleva hybridimalli on eräänlainen "puumalli", jossa asiakkaat järjestyvät löyhästi vanhempi- ja lapsisoluiksi (Toldo ja Magli (2011)). Vertaisverkkojen avulla toteutettujen suoratoistosovellusten asiakasjärjestyksien toteutuksessa ei ole kuitenkaan mitään yleistä tai suosituinta käytäntöä vaan teknologia vaikuttaa olevan edelleen lapsenkengissä.

4 Vertaisverkkopohjainen suoratoisto verrattuna muihin toteutustapoihin

Suoratoiston toteuttamiseen on monia eri tapoja, joista sovellettu asiakas-palvelinmalli on tällä hetkellä suosituin. Yhden palvelimen sijaan tässä sovelletussa mallissa on useita eri palvelimia, jotka hoitavat osan suoratoistopalvelun tehtävistä (Zhanikeev (2014)). Asiakas-palvelin-mallisen ja pilvipalveluna toteutetun suoratoiston välinen ero on häilyvä. Lisäksi on olemassa hybridimalleja, jotka pyrkivät yhdistelemään eri ratkaisujen hyviä puolia ja minimoimaan heikkouksia.

Vertaisverkolla toteutetun suoratoiston tarjoaman palvelun suorituskyky ja sitä myötä sen kilpailukyky muita ratkaisuja vastaan riippuu viidestä eri seikasta (Naor ja Wieder (2006)) :

- Liittymisen ja poistumisen hinta: Palvelun tulisi sopeutua muutoksiin helposti. Kun asiakkaita liittyy tai poistuu sen tulisi vaikuttaa vain pieneen määrään muita asiakkaita.
- Tukokset: Yhdestäkään asiakkaasta ei saa muodostua tukosta. Verkon rasituksen tulisi jakautua tasaisesti kaikkien asiakkaiden kesken.
- Etsintäpolkujen pituus: Asiakkailla tulisi olla mahdollisimman lyhyt etsintäpolku puuttuvan tiedon luo. Polun muodostavat vertaisverkon asiakkaat.
- Viansietokyky: Vertaisverkon tulisi säilyttää hyvä toimintakyky vaikka osa yhteyksistä katkeasikin yllättäen tai jos se joutuu hyökkäyksen kohteeksi.
- Dynaaminen muistinhallinta: Suosittu tieto saattaa kuormittaa yhtä sitä tarjoavaa asiakasta liikaa. Hyvä vertaisverkkojärjestelmä osaa kopioida suositun tiedon toiselle asiakkaalle, jolloin yksittäisen asiakkaan kuorma laskee.

4.1 Vertaisverkkopohjainen suoratoisto verrattuna asiakas-palvelinmalliseen suoratoistoon

Edellä mainittujen kohtien perusteella voidaan tehdä vertailua tällä hetkellä yleisimpään tapaan toteuttaa suoratoisto eli asiakas-palvelinmalliseen suoratoistoon.

Liittymisen ja poistumisen hinta on asiakas-palvelinmallisessa suoratoistossa matala. Palvelun laatu asiakkaan päätteellä ei ole millään tapaa suoraan riippuvainen muiden asiakkaiden suoratoistosta. Vertaisverkkopohjaisissa suoratoistosovelluksissa täytyykin kiinnittää erityishuomiota poistuvien ja liittyvien asiakkaiden vaikutukseen, jotta se olisi kilpailukykyinen muihin ratkaisuihin verrattuna.

Sen sijaan palvelun laatuun vaikuttaa oleellisesti asiakkaiden määrä sekä siirretyn informaation kokonaismäärä. Jos asiakkaita on enemmän kuin palvelin kykenee käsittelemään, suoratoistopalvelun laatu laskee. Käytännössä tämä tarkoittaa siis joko tiedonsiirron hidastumista niin hitaaksi, että suoratoisto pätkii tai yhteys katkeaa kokonaan. Vertaisverkkopohjaisen suoratoiston yksi selkeimmistä vahvuuksista asiakas-palvelinmalliin verrattuna on tarjota korkeampitasoista ja vähemmän katkeilevaa kuvaa, jos asiakas-palvelinmallissa palvelinresurssit ovat liian matalat asiakkaiden määrään suhteutettuna.

Riippumattomuuden takia myöskään tukokset eivät ole asiakas-palvelinmallissa ongelmana. Täten mahdollinen tukoksien muodostuminen on vertaisverkkopohjaisten suoratoistosovellusten heikkous verrattuna tähän malliin. Sama koskee myös etsintäpolkujen pituutta: etsintäpolun pituus on asiakas-palvelinmallissa aina yhden välin mittainen ja vakio.

Viansietokyky sen sijaan on hyvin toteutetussa vertaisverkkopohjaisessa suoratoistosovelluksessa hieman asiakas-palvelinmallista suoratoistosovellusta parempi. Kun informaatio sijaitsee hajautetusti eri asiakkailla, ei yhden asiakkaan putoaminen verkosta tai asiakkaan joutuminen hyökkäyksen kohteeksi laske palvelun laatua merkittävästi. Tässä kuitenkin on taustaehtona se, että vertaisverkossa on toimiva dynaaminen muistinhallinta sekä riittävästi jäseniä.

4.2 Vertaisverkkopohjainen suoratoisto verrattuna pilvipalveluihin ja muihin edistyneisiin toteutustapoihin

Osa nykyisistä suoratoistosovelluksista on siirtynyt edellä mainittujen palvelinkapasiteettiongelmien takia käyttämään pilvipalveluja suoratoiston toteutuksessa. Kuten aiemmin mainittiin, pilvipalvelu perustuu joukkoon palvelimia, joiden välille palvelun työmäärä jakautuu. Tällöin asiakas-palvelin-mallisten suoratoistosovelluksien suurin ongelma eli palvelinkapasiteetin riittämättömyys saadaan minimoitua. Pilvipalvelupohjaisten suoratoistosovellusten muut heikkoudet ja vahvuudet eivät merkittävästi eroa vanhojen asiakas-palvelin-mallisten suoratoistosovelluksien muista heikkouksista ja vahvuuksista.

Pilvipalvelujen ongelmana ovat korkeat kustannukset. Tämän takia osa toimijoista on ryhtynyt tutkimaan niin sanottuja hybridiverkkoja. Hybridiverkot pyrkivät yhdistelemään vertaisverkkojen ja pilvipalveluiden hyviä puolia. Esimerkkinä voi käyttää peliä, jossa pelin tämänhetkinen tila on tallennettuna pilvipalveluun, mutta pelaajien määrän kasvaessa osa tiedosta siirretään pelaajille itselleen jaettavaksi samoin kuten vertaisverkoissa. Näin säästettäisiin merkittävä määrä palvelinresursseja, mutta samalla pystyttäisiin takaamaan palvelun laatu myös matalilla pelaajamäärillä. (Kavalionak ja Montresor (2012))

Hybridimallisten suoratoistosovellusten ongelmat ovat järjestelmän autonomisessa säätelyssä. Tällainen verkko vaatii monimutkaisia säätelyalgoritmeja päättämään käytetyn pilviresurssien ja vertaisverkolle delegoitavien osuuksien suhteesta. Lisäksi sovelluksen täytyy pystyä tehokkaasti ja nopeasti päättämään, mikä osa siirrettävästä datasta siirretään vertaisverkon armoille. Jos tässä epäonnistutaan, osa datasta saattaa yhtäkkiä olla saavuttamaton kaikille käyttäjille tai kokonaan kadota. (Kavalionak & Montresor (2012))

Vertaisverkkopohjaisille sovelluksille on siis hyvin rajattu käyttäjäryhmä: matalia kustannuksia tavoittelevat toimijat, jotka haluavat jakaa materiaaliaan suurelle määrälle asiakkaita samaan aikaan. Vertaisverkkopohjaiset suoratoistosovellukset ovat täten parhaimmillaan suorien ja maantieteellisesti kohtalaisen pienelle alueelle lä-

hetettävien lähetyksien toteutuksessa.

5 Yhteenveto

Suoratoistosta on tullut erittäin merkittävä tapa nauttia erilaisista mediasisällöistä. Kehitys on ollut hyvin nopeaa viimeisen kymmenen vuoden aikana ja tämän takia suoratoiston toteutuksessa käytetty teknologia hakee vielä uomiaan. Olen käynyt tässä tutkielmassa läpi suoratoiston toimintaperiaatetta sekä sen rajoituksia. Vertaisverkkojen käyttö ei ole vielä noussut kovinkaan merkittävään asemaan suoratoistosovellusten toteutuksessa, mutta tämän tutkimuksen perusteella sen käyttöä tulisi tutkia lisää.

Jaksoittaisuuteen perustuva suoratoisto tarjoaa perinteistä osasiirtoa notkeamman ja loppukäyttäjälle kätevämmän tavan päästä mediaan käsiksi. Erilaisten suoratoistotapojen ja niiden ominaisuuksien määrittely sekä rajaaminen on haastavaa, sillä suurin osa teknologiasta on vielä erittäin nuorta. Lisäksi suomenkieliset termit eivät ainakaan vielä ole kovin vakiintuneita.

On selvää, että vertaisverkoilla on potentiaalista käyttöä etenkin suorien videolähetysten suoratoiston toteutuksessa. Asiakas-palvelin-malli sekä pilvipalvelut sopiva monenlaiseen käyttöön, mutta aloituskustannukset ovat korkeat. Varsinkin pienten toimijoiden tulisi ottaa myös vertaisverkkojen tuomat mahdollisuudet huomioon.

Tekijänoikeuslainsäädäntö on yksi merkittävimmin vertaisverkkojen laajempaa käyttöä rajoittava seikka. Esimerkiksi Yle Areenan suoratoistosovellus ei saa tallentaa 30 sekuntia enempää videomateriaalia asiakkaan päätteen puskuriin tekijänoikeuksellisista syistä (YLE (2014)). Vertaisverkkopohjaisissa suoratoistosovelluksissa jokainen asiakas tallentaa runsaasti informaatiota päätteelleen, joten niiden käyttö on nykyisten sopimusten ja lainsäädännön kannalta ongelmallista. Täten vertaisverkkopohjaisten suoratoistosovellusten käytölle löytyy eniten potentiaalia suorissa lähetyksissä, joiden oikeudet itse lähettäjä omistaa. Tällaisia ovat esimerkiksi monet kansalliset urheilutapahtumat.

Vertaisverkkopohjaisten suoratoistosovellusten kannalta jatkossa olisi hyvä tutkia erilaisten järjestämisalgoritmien vaikutusta suoratoiston laatuun sekä verkon rasi-

tukseen. Vertaisverkkopohjaisen piratismiin huippuvuosina verkolle muodostunut rasite aiheutti merkittäviä ongelmia operaattoreille ja usein käyttäjien verkonsiirtonopeuksia rajoitettiin joko operaattorien tai muiden verkonvalvojen toimesta. Esimerkiksi vuonna 2004 Turun yliopiston verkkoliikenteestä 86 prosenttia oli vertaisverkkosovellusten aiheuttamaa (Kattelus (2008)).

On vaikea arvioida miten suuren rasitteen suositun vertaisverkkopohjaisen suoratoistosovelluksen käyttö aiheuttaisi nykyisten verkkojen tiedonsiirtokapasiteetilla ja pystyttäisiinkö tällöin muunmuassa vertaisverkkojen tarjoamaa parempaa kuvanlaatua oikeasti hyödyntämään.

Tulevaisuudessa pilvipalveluiden rooli kasvaa merkittävästi. Jo nykyisellään Youtuben ja Twitchin kaltaiset suuret toimijat käyttävät pilvipalvelimia suoratoistosovellusten toteutuksessa. Tämä kuitenkin aiheuttaa merkittäviä kuluja kyseisille toimijoille ja tämän takia muunmuassa juuri Youtuben toiminta ei ole vielä kannattavaa hyvästä markkina-asetuksesta huolimatta (CBS News (2014)).

Myös erilaisten hybriditoteutusten markkina-asema tulee kasvaamaan lähivuosina. Esimerkiksi Spotify käytti alkuvaiheessa sekä pilvipalvelinklusteria sekä vertaisverkkoja palvelunsa toteutukseen. Spotify on sittemmin luopunut vertaisverkkojen käytöstä, mikä sinänsä ei ole kovin rohkaiseva tieto vertaisverkkojen mahdollisuuksien kannalta (Techcrunch (2014)). On kuitenkin muistettava, että musiikkipalvelun tiedonsiirtomäärät ovat murto-osia videosovelluksiin verrattuna. Netflix on tiedettävästi kartoittanut mahdollisuutta käyttää vertaisverkkoja palvelunsa toteutukseen (Torrentfreak (2014)).

Kirjallisuutta

- Akhshabi, S. & Begen, A.C. & Dovrolis, C. 2011. *An Experimental Evaluation of Rate-Adaptation Algorithms in Adaptive Streaming over HTTP*. In Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems (MMSys '11). Yhdysvaltat: ACM.
- BGR. 2014. *Netflix still dominates online streaming, and is slowly killing BitTorrent*. Saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://bgr.com/2015/12/08/netflix-vs-bittorrent-online-streaming-bar>>. Viitattu 27.4.2016.
- CBS News. 2015. *4 reasons YouTube still doesn't make a profit*. Saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.cbsnews.com/news/4-reasons-youtube-still-doesnt-make-a-pr>>. Viitattu 27.4.2016.
- Famaey, J. & Latre, S. & Bouten, N. & Van de Meerssche, W. & De Vleeschauwer, B. & Van Leekwijck, W. & De Turck, F. 2013. *On the merits of SVC-based HTTP Adaptive Streaming*. IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM2013). Belgia: IFIP.
- Filali, A. 2011. *A Survey of Structured P2P Systems for RDF Data Storage and Retrieval*. Transactions on Large-Scale Data- and Knowledge-Centered Systems III: Special Issue on Data and Knowledge Management in Grid and PSP Systems, 1, s. 21.
- Hassan, Q.F. 2011. *Demystifying Cloud Computing*. Faculty of Computers and Information, Mansoura University. Egypt: Mansoura University.
- Jarvinen, P. 2003. *IT-tietosanakirja*. Porvoo: Docendo Finland Oy.
- Kattelus, J. 2008. *P2P vertaisverkot - Uhka vai mahdollisuus?*. Tampere: Tampereen yliopisto.
- Kavalionak, H. & Montresor, A. 2012. *P2P and Cloud: A Marriage of Convenience for Replica Management*. University of Trento. Trento: IFIP International Federation for Information Processing.
- Naor, M. & Wieder, U. 2006. *Novel Architectures for P2P Applications: the Continuous-Discrete Approach*. ACM Trans. Algorithms, s. 2.

- Schollmeier, R. 2002. *A Definition of Peer-to-Peer Networking for the Classification of Peer-to-Peer Architectures and Applications*. Proceedings of the First International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'01), s. 1-2.
- Techcrunch. 2014. *Spotify Removes Peer-To-Peer Technology From Its Desktop Client*. Saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://techcrunch.com/2014/04/17/spotify-removes-peer-to-peer-techno>>. Viitattu 27.4.2016.
- Toldo, M. & Magli, E. 2010. *A resilient and low-delay P2P streaming system based on network coding with random multicast trees*. 2010 IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP). Italia: IEEE.
- Torrentfreak. 2014. *Netflix Considers P2P-Powered Streaming Technology*. Saatavilla WWW-muodossa <URL: <https://torrentfreak.com/netflix-considers-p2p-powered-streaming-tec>>. Viitattu 27.4.2016.
- van der Schaar, M. & Chou, P. 2011. *Multimedia over IP and Wireless Networks*. Academic Press, s. 7.
- Yleisradio. 2014. *Ohjeita Areenan käyttöön*. Saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://yle.fi/aihe/artikkeli/2014/12/20/ohjeita-areenan-kayttoon>>. Viitattu 27.4.2016.
- Zhanikeev, M. 2014. *Multisource Stream Aggregation in the Cloud*. Wiley Series on Parallel and Distributed Computing : Advanced Content Delivery, Streaming, and Cloud Services. Somerset, NJ, USA: Wiley.