

Adaptiivinen videokuva eri verkkoselaimilla

Toni Ojala

Sähkötekniikan korkeakoulu

Kandidaatintyö
Espoo 8.9.2022

Vastuupettaja

Yliopistonlehtori Markus Turunen

Työn ohjaaja

DI Juha Järvinen

Copyright © 2022 Toni Ojala

Tekijä Toni Ojala		
Työn nimi Adaptiivinen videokuva eri verkkoselaimilla		
Koulutusohjelma Elektroniikka ja sähkötekniikka		
Pääaine Elektroniikka ja sähkötekniikka	Pääaineen koodi ELEC3013	
Vastuupettaja Yliopistonlehtori Markus Turunen		
Työn ohjaaja DI Juha Järvinen		
Päivämäärä 8.9.2022	Sivumäärä 23	Kieli Suomi
Tiivistelmä		

Tässä työssä on tutkittu kirjallisuuskatsauksena viittä suosituinta verkkoselainta (Google Chrome, Mozilla Firefox, Apple Safari, Microsoft Edge ja Opera) adaptiivisen videokuvan näkökulmasta. Kyseiset selaimet käyttävät vain kolmea eri selainmoottoria ja ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia.

Verkkokäytössä olevat videoformaatit rajoittuvat olennaisesti kahteen: MP4 ja WebM. Molemmat formaatit sopivat erinomaisesti verkkokäyttöön hyvän pakkaussuhteen takia. Eroja löytyy lähinnä koodekkituen osalta.

Lähes kaikki internetin adaptiivinen videokuva toimitetaan HTTP:n avulla joko DASH:llä tai HLS:llä. Nuo kaksi siirtoprotokollaa ovat lähes identtisiä toimintaperiaatteeltaan. Isoin ero on se, että DASH on standardoitu ja että HLS on laajemmin tuettu.

Työn tärkeimmät tulokset on kiteytettävissä siihen, että selainten välillä on vain vähän eroja. Isoin ero on siirtoprotokollatuessa sekä koodekkituessa, sillä Safari ei tue DASH:ä siirtoprotokollana, eikä AV1:tä koodekkina, mutta tukee ainoana H.265/HEVC-koodekkia.

Avainsanat verkkoselain, adaptiivinen videokuva, suoratoisto

Sisällys

Tiivistelmä	3
Sisällys	4
Käsitteet ja lyhenteet	5
1 Johdanto	6
2 Verkkoselain	8
3 Videokuva	11
4 Suoratoisto	14
5 Vertailu	19
6 Yhteenveto	20
Viitteet	21

Käsitteet ja lyhenteet

Käsitteet

HTML5	Yleiskäsite moderneille verkkoteknologioille, joihin kuuluu HTML, CSS ja JavaScript
HTTP	Protokolla, jota selaimet ja palvelimet käyttävät tiedonsiirtoon. Määrittää miten esim. teksti, kuva ja video siirretään verkossa.
Koodekki	Laite tai ohjelmisto, joka mahdollistaa esimerkiksi videon pakkaamisen tai purkamisen.
URL	Jonkin verkkoresurssin (lähtäkohtaisesti verkkosivun) osoite.
Verkkoselain	Tietokoneohjelma, jota käytetään World Wide Webin tai paikallisen verkkosivun käyttämiseen
World Wide Web	Internet-verkossa toimiva hajautettu tietojärjestelmä
WorldWideWeb	Ensimmäinen verkkoselain

Lyhenteet

DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP, tunnetaan myös nimellä MPEG-DASH
HLS	HTTP Live Streaming
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
MPEG	Moving Picture Experts Group
URL	Uniform Resource Locator
WWW	World Wide Web

1 Johdanto

Elämää ilman internetiä voi olla nykyään hankala kuvitella. Michael ja Ronda Hauben kertovat tekstissään *Behind the Net: The Untold History of the ARPANET and Computer Science (Chapter 7)*, kuinka internet sai alkunsa Yhdysvaltain puolustusministeriön aloitteen ja rahoituksen seurauksena syntyneestä ARPANET-nimisestä verkosta 1960-luvulla. [1] Alun perin puolustusvoimille suunniteltu verkko ja alkuaikoina vain muutaman tahon käyttämä verkko on sittemmin kasvanut ja kehittynyt räjähdysmäisesti. Nykyään internetiä käyttää maailmanlaajuisesti noin 63 % väestöstä [2] ja esimerkiksi vuonna 2018 80 %:lla suomalaisista oli käytössään älypuhelin [3], jonka avulla käyttää internetiä.

1990-luvun alussa englantilainen tietojenkäsittelytieteilijä Tim Berners-Lee mullisti internetin kehittäessään HyperText Markup Language (lyh. HTML) kuvaamaan verkkosivuja ja -dokumentteja, jolla verkkosivut tehdään tänäkin päivänä. Uusi kuvauskieli tarvisi tietysti parikseen sopivan työkalun, jonka seurauksena ensimmäinen verkkoselain, WorldWideWeb, syntyi [4]. WorldWideWebistä on tultu pitkä matka eteenpäin ja nykyään verkkoselaimia onkin lukuisia erilaisia, jotka kilpailevat keskenään muun muassa erilaisilla ominaisuuksilla ja käytettävyydellä.

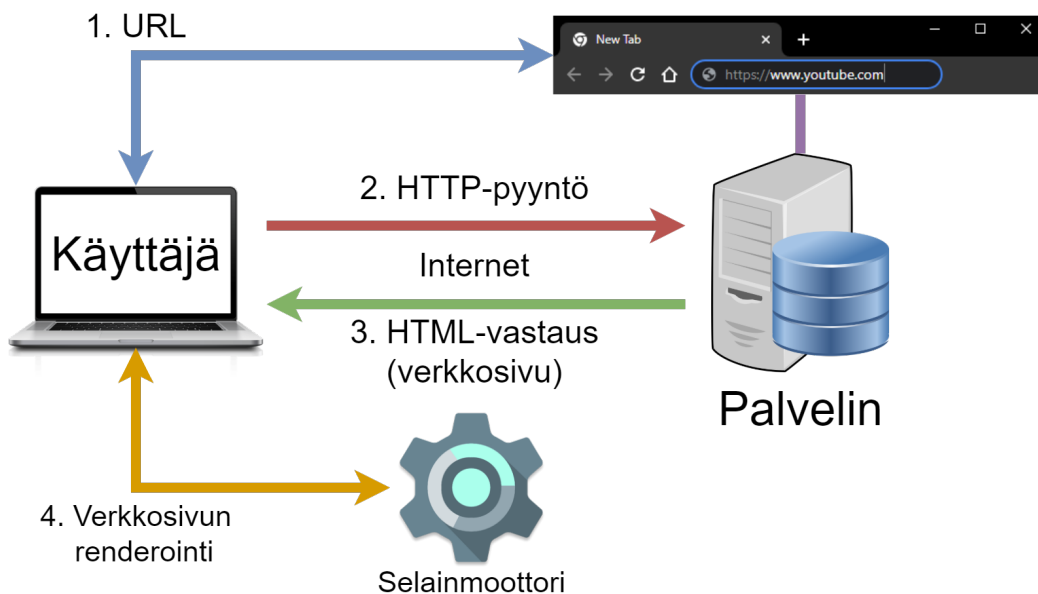
Internetin laajentuessa ja monipuolistuessa myös videomuotoinen sisältö on löytänyt tiensä internetiin. Etenkin nykypäivänä videomuotoisen sisällön kysyntä sekä tarjonta on valtava, jonka takia videosisällön jakamiseen on kehitetty omat teknologiansa. Katsojalle katkottomaan videon katseluun on kehitetty adaptiivinen suoratoisto (eli adaptiivinen videokuva), jonka avulla videon laatu voidaan maksimoida suhteessa käytettävissä oleviin kaistan ja prosessorin kapasiteetteihin. Tämän kyseisen periaatteen mukaisesti erimerkiksi monen suosima YouTube-videopalvelu jakaa videonsa miljoonille katsojille päivittäin.

Tämä työ esittelee, mistä kaikesta adaptiivinen videokuva teknologiana koostuu ja miten sen toteutukset eroavat viidessä suosituimmassa verkkoselaimessa. Toisessa luvussa käsitellään modernia verkkoselainta yleisesti, joka luo pohjaa vertailulle. Kolmannessa luvussa avataan videokuvan käsitettä etenkin internetin videosisällön kannalta ja käydään läpi adaptiivisen striimauksen kannalta olennaisimpia formaatteja. Neljännessä luvussa käydään läpi videokuvan suoratoistoa yleisesti sekä etenkin adaptiivista suoratoistoa. Viidennessä luvussa vertaillaan tämän hetken viittä suosituinta verkkoselainta adaptiivisen suoratoiston osalta. Viimeisessä luvussa pohditaan,

mitä havaintoja vertailussa on ilmennyt eli miten eri selaimet eroavat adaptiivisen suoratoiston ja siihen liittyvien ominaisuuksien osalta.

2 Verkkoselain

Verkkoselain on tietokoneohjelma, jonka päätarkoitus on noutaa sisältöä internetistä tai paikalliselta tallennusvälineeltä käyttäjän katseltavaksi ja käytettäväksi. Verkkoselainta käytetään yleensä (kuten kuvassa 1 prosessia kuvataan) syöttämällä sille URL-osoite. URL on lyhenne sanoista Uniform Resource Locator, joka on merkkijono ja jonkin verkkoresurssin (lähtökohtaisesti verkkosivu) osoite [5]. Selain noutaa osoitteen mukaisen verkkosivun, jonka jälkeen selainmoottori renderöi eli hahmontaa sivun sisällön käyttäjän katseltavaksi. Noudettu verkkosivu voi sisältää esimerkiksi tekstiä, kuvia, ääntä, videoita tai muuta vastaavaa sisältöä. Verkkosivujen katselemisen lisäksi selaimia käytetään nykyään myös esimerkiksi PDF-tiedostojen katseluun.



Kuva 1: Yksinkertainen malli selaimen käyttöprosessista

Vaikka alkujaan internetin selaamiseen olikin olemassa vain muutamia selaimia, on niitä nykyään lukuisia erilaisia ja selaimia on tietokoneiden lisäksi useille eri laitteille, kuten älypuhelimet tablettitietokoneet, pelikonsolit ja älytelevisiot. Taulukossa 1 esitetyn tilaston mukaan tällä hetkellä viisi suosituinta tietokoneella käytettyä verkkoselainta ovat Google Chrome, Safari, Microsoft Edge, Mozilla Firefox ja Opera [6][7]. Tässä työssä keskitytään noihin viiteen selaimen adaptiivisen videokuvan näkökulmasta.

Moderni verkkoselain koostuu useammasta komponentista, kuten käyttöliittymäs-

Taulukko 1: Selainten markkinaosuus tietokonekäytössä helmikuussa 2022. [6][7]

Selain	StatCounter	Similiarweb
Google Chrome	64,91 %	65,47 %
Safari	9,77 %	10,04 %
Microsoft Edge	9,61 %	11,34 %
Mozilla Firefox	9,47 %	7,10 %
Opera	2,87 %	1,94 %
Muut	3,37 %	4,10 %

tä, selainmoottorista, muistista sekä JavaScript-tulkista. Kaikista keskeisin näistä komponenteista on selainmoottori eli selainydin. Selainmoottorin päätehtävänä on muuntaa HTML-tiedostot ja muut verkkosivun resurssit (kuten audio- ja videoresurssit) interaktiiviseksi visuaaliseksi esitykseksi käyttäjän laitteella.

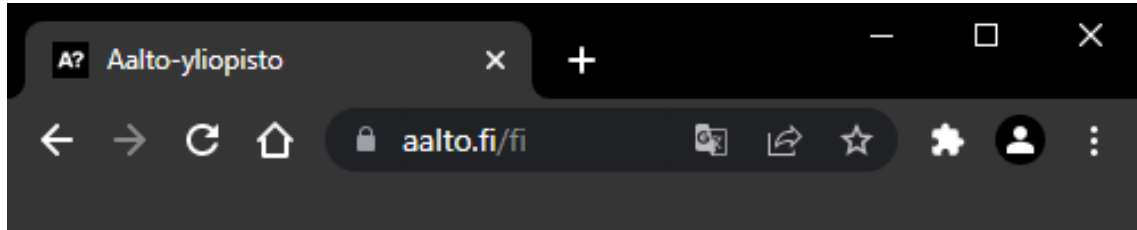
Selainten mittavasta lukumäärästä huolimatta selainmoottoreita ei suinkaan ole yhtä montaa, ja suosituimmistakin selaimista peräti 3 käyttävät samaa selainyaintä. Firefox käyttää Mozillan kehittämää Gecko-nimistä selainmoottoria, Safari käyttää Applen kehittämää WebKit-selainmoottoria ja Chrome, Edge sekä Opera käyttävät kaikki Chromium-projektille yhteistä Blink-selainmoottoria. [8] Tämän työn kannalta merkittäviä selainmoottoreita ovat edellä mainitut Gecko, WebKit ja Blink, sillä viidessä suosituimmassa selaimessa on käytössä vain 3 eri selainmoottoria.

Verkkoselainten käyttöliittymä on selaimesta riippumatta usein hyvin samankaltainen. Yleensä selaimen käyttöliittymässä on ainakin seuraavat elementit:

- osoiterivi URL-osoitteiden syöttämiseen
- eteenpäin ja takaisin navigoimista varten olevat painikkeet
- kotipainike (joka vie käyttäjän asettamalle kotisivulle tai -sivuille)
- päivitys- ja pysäytyspainike sivun resurssien päivittämiseen tai resurssien lataamisen pysäyttämiseen
- kirjanmerkkien luomisen painike tai työkalut
- hallintapainike, josta pääsee esimerkiksi selaimen asetuksiin

Vaikka moni muu ominaisuus verkkoselainten toiminnasta on standardien säätelemää, ei käyttöliittymän ominaisuuksista ole erillisiä standardeja. Silti yllä mainitut ja myös kuvassa 2 havaittavat ns. vakioelementit löytyvät lähes poikkeuksetta jokaisesta selaimesta tänä päivänä. Lisäksi selaimista löytyy usein jokin hakukone

(esimerkiksi Google tai DuckDuckGo) integroituna osoiteriviin, välilehtijärjestelmä jonka avulla jokaista verkkosivua ei tarvitse avata omassa ikkunassaan sekä monia muita käytettävyyttä huomattavasti lisääviä ominaisuuksia.



Kuva 2: Google Chrome -selaimen käyttöliittymä

3 Videokuva

Videokuvalla eli videolla tarkoitetaan yleensä teknologiaa, jolla elektronisista signaaleista muodostetaan liikkuvaa kuvaa. Video siis koostuu lähtökohtaisesti suuresta määrästä still-kuvia, jotka toistetaan nopeasti peräkkäin jolla simuloidaan liikettä. Videojärjestelmiä ja -teknologioita on nykyään hyvin monia erilaisia, ja niissä on useita eroavaisuuksia esimerkiksi näissä ominaisuuksissa:

- resoluutio eli kuvatarkkuus
- kuvasuhde (kuvan leveys suhteessa korkeuteen)
- virkistystaajuus eli montako kuvaa näytetään sekunnin aikana
- väriominaisuudet

Videot olivat alun perin analogisia, joiden värijärjestelmiin ja koodausmenetelmiin kuuluivat muun muassa NTSC, PAL ja SECAM. Nykyään analogisia videoita käytetään kuitenkin enää harvoin, sillä internetin sekä usean digitaalisen tallennusvälineen ja järjestelmän käytön yleistymisen myötä myös digitaalisten videoiden määrä on kasvanut hurjasti. Lisäksi myös televisiolähetykset siirtyivät Suomessa kokonaan digitaaliseen formaattiin vuonna 2007 [9], mikä entisestään vähensi analogisen videon esiintyvyyttä. Tässä työssä käsitellään nimenomaan digitaalista videota etenkin suoratoistokäytössä.

Kuten videoiden toistamiseen ja katsomiseen on lukuisia erilaisia järjestelmiä, on digitaalisen videon formaatteja myös monia erilaisia. Videoformaateista puhutaan myös usein videosäiliöinä, joka on hyvin kuvaava, sillä videot usein sisältävät video-signaalin lisäksi myös ääntä. Taulukossa 2 on listattuna tämän hetken oleellisia digitaalisia videoformaatteja, sekä hieman avattu niiden pääsääntöisiä käyttökohteita. Kuten taulukossakin on mainittu, MP4 ja WebM ovat verkkokäyttöön parhaiten soveltuvat ja tästä johtuen suosituimmat formaatit.

Syy MP4- ja WebM-formaattien suosioon löytyy niiden videodatan pakkaamiseen käytetyistä koodekeista. Yksi täysteräväpiirtovideon (1920x1080) kuva täydellä värillä (4 tavua per pikseli) on kooltaan 8 294 400 tavua. Tyypillisellä virkistystaajuudella (30 kuvaa sekunnissa) yksi sekunti täysteräväpiirtovideota vie siis 248 832 000 tavua tilaa eli noin 249 megatavua, yksi minuutti videota puolestaan noin 14,93 gigatavua ja yksi tunti videota olisi noin 895,8 gigatavua. Suhteutettaessa internetyhteyden

Taulukko 2: Suositut videoformaattit ja niiden käyttökohteet. [11][12][13]

Videoformaatti	Käyttö	Huomioita
MP4	Verkkosisältö, suoratoisto	Selkeästi suosituin ja käytetyin formaatti
WebM	Verkkosisältö, suoratoisto	Monipuolinen, huono tuki Applen alustoilla
AVI	TV ja päätiedostot	Monipuolinen ja usein laadukas formaatti, suuret tiedostokoot
MOV	Elokuvat ja TV	Riippuvainen QuickTime-ympäristöstä
WMV	Windows, suoratoisto	Suhteellisen rajoittunut Windows-ympäristöön
Matroska	Elokuvat ja TV	AVI:n kaltainen

siirtonopeuksiin, olisi tällaisen pakkaamattoman videon suoratoisto siis todella vaativaa, sillä pelkän videoraidan siirto vaatisi 249 MB/s:n siirtonopeutta.

Jotta täyteräväpiirtovideon siirtäminen verkkoyhteyden avulla olisi realistista, tarvitsee videota pakata pienemmäksi. Videokoodekit ovat tässä avainasemassa. Koodekki on tässä yhteydessä ohjelmisto, jolla digitaalinen video voidaan pakata tietyn videokoodausformaatin mukaiseksi sekä purkaa kyseessä olevasta formaatista toistettavaksi signaaliksi [10].

Koodekista ja yhteensopivasta videokoodausformaatista käytetään usein samaa nimeä, jonka takia puhekielessä formaatin sijasta saatetaan helposti puhua koodekista. Tämän hetken yleisimpiin koodekkeihin sekä formaatteihin kuuluu muun muassa AV1, H.264/AVC, H.265/HEVC ja VP9 [14]. Taulukosta 3 nähdään kootusti edellä mainittujen koodekkien tukemat säiliöformaatit. Taulukosta on havaittavissa hyvin nopeasti syy MP4-säiliön suosioon, sillä siihen voi sisällyttää kaikkia edellä mainittujen formaattien mukaista videota. Koodekeista H.264/AVC on vanhin ja heikoimmalla pakkaussuhteella varustettu, mutta myös yleisin ja tuetuin johtuen sen iästä. Uudemmat koodekit (etenkin AV1 ja H.265/AVC) taas omaavat selkeästi paremman pakkaussuhteen, mutta ovat vaihtelevammin tuettuna. Esimerkiksi YouTubessa videoita on tarjolla sekalaisilla koodekeilla koodattuna, joista etenkin uudemmat videot saattavat olla koodattu esimerkiksi AV1:llä tai H.265/HEVC:llä.

Taulukko 3: Suosittuja videokoodekkeja ja niiden säiliöitä. [14]

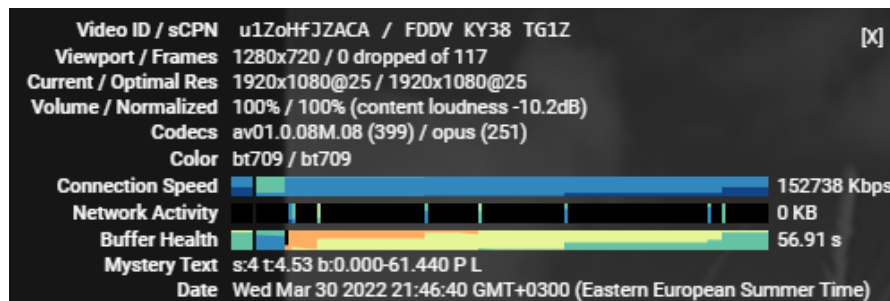
Koodekki	Koko nimi	Säiliötuki
AV1	AOMedia Video 1	MP4, WebM
H.264/AVC	Advanced Video Coding	MP4, 3GP
H.265/HEVC	High Efficiency Video Coding	MP4
VP9	Video Processor 9	MP4, WebM, Ogg

MP4

MP4 eli MPEG-4 Part 14 on digitaalinen multimediasäiliöformaatti, jota käytetään lähtökohtaisesti videon ja äänen säilömiseen, mutta se voi sisältää näiden lisäksi myös erilaista dataa, kuten tekstitystä tai still-kuvia. MP4:n suosio verkkokäytössä johtuu pitkälti sen pienestä tiedostokoosta ja laajasta koodekkituesta. MP4 tukee esimerkiksi kaikkia taulukossa 3 mainittuja suosituimpia koodekkeja. MP4:ää käytetään formaattina etenkin koodekkien H.264 ja H.265 sekä myös AV1:n kanssa (tästä esimerkki kuvassa 3). [15]

WebM

WebM on avoin ja rojaltivapaa audiovisuaalinen multimediasäiliöformaatti, joka suunniteltiin varta vasten korkealaatuiseksi avoimeksi standardiksi verkkokäyttöön. [16] Ero WebM:n ja MP4:n välillä näkyy eniten ideologiaerona, sillä WebM tukee ainoastaan ilmaisia video- ja audiokoodekkeja. Tuettuihin koodekkeihin kuuluvat ensisijaisesti WebM-projektin itsensä kehittämät videokoodekit VP8 ja VP9 sekä Xiph Foundationin kehittämät audiokoodekit Vorbis ja Opus. WebM tukee myös AV1:tä, mutta AV1:n käyttö WebM-säiliössä on harvinaisempaa, kuin MP4-säiliössä (kuten kuvassa 3 näkyy). [17]



Kuva 3: Esimerkki YouTube'n MP4-muotoisen videon teknisistä tiedoista. Videon koodekki on AV1 ja audion Opus. Videon formaatti selviää tutkimalla kehittäjänäköymän verkko-osuutta.

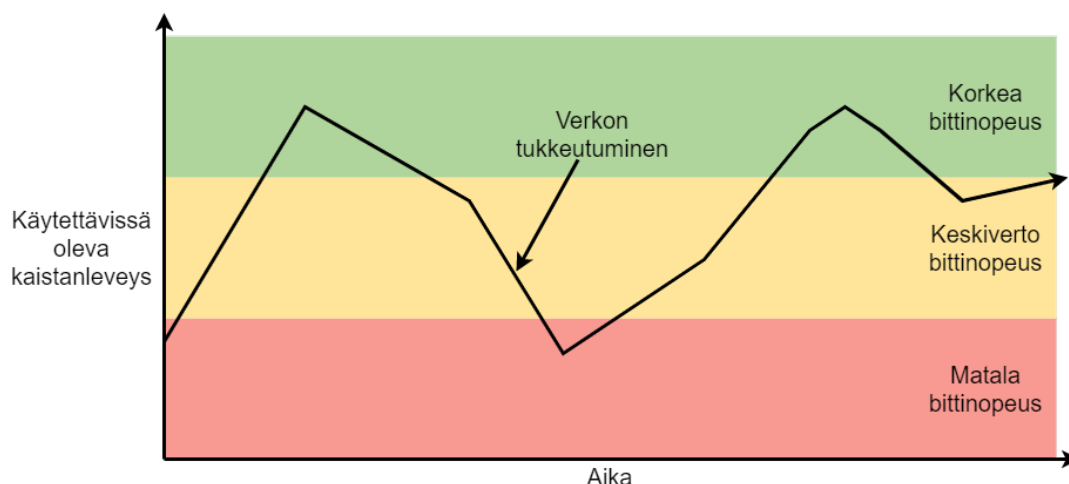
4 Suoratoisto

Suoratoistolla, josta usein käytetään puhekielessä termiä striimaus, tarkoitetaan tiedonsiirtotapaa, jossa toistettava mediatiedosto siirretään kohteeseen jatkuvana tietovirtana siten, että tiedostoa voidaan prosessoida vastaanottavalla päätelaitteella jo ennen kuin koko tiedosto on lähetetty [18]. Esimerkiksi videota suoratoistettaessa videotiedostoa siis ladataan samanaikaisesti, kun sitä jo toistetaan päätelaitteella. Suoratoiston tarkoitus teknologiana on mahdollistaa median toistaminen nopeammin ja helpommin kuin perinteisellä tavalla, jossa koko tiedosto ladataan ensin käytettävälle laitteelle, jonka jälkeen sen voi vasta toistaa. Toistamisen nopeutus on huomattava, sillä huolimatta nykyaikaisten internet-yhteyksien nopeudesta, on esimerkiksi elokuvan lataaminen ja katsominen huomattavan hidas ja epämieluisa prosessi ilman suoratoistoteknologioita. Suoratoistoa käytetään usein esimerkiksi video- ja audiomedian siirtämiseen ja toistamiseen suoratoistopalveluiden, kuten Youtuben, Netflixin ja Spotifyn, toimesta. Suoratoistoteknologioiden käyttö ei kuitenkaan rajoitu vain video- ja äänimedian siirtämiseen ja toistamiseen, vaan sitä hyödynnetään myös muun muassa reaaliaikaiseen suoratoistoon. Teknologiat, kuten videopuhelut ja muu reaaliaikainen suoratoisto eli livestriimaus, sekä jopa pelien etäpelaaminen esimerkiksi Google Stadia -alustalla, [19] ovat esimerkkejä reaaliaikaisen suoratoiston käyttökohteista. Tässä työssä keskitytään erityisesti videoiden suoratoistoon sekä siihen liittyviin teknologioihin.

Adaptiivinen suoratoisto

Siinä missä suoratoiston tarkoituksena on mahdollistaa median toistaminen nopeammin ja helpommin kuin koko tiedoston ensin lataamalla, on adaptiivisen suoratoiston tarkoituksena vielä tämän lisäksi taata käyttäjälle täysin katkoton median toistokokemus. Adaptiivisessa suoratoistossa eli adaptiivisen bittinopeuden suoratoistossa toistettava media on transkoodattu eri bittinopeuden mukaisiin ja eri laatuisiin toistettaviin muotoihin. Kuten kuvassa 4 on havainnollistettu, laadukkaampaa videota eli korkeammalla bittinopeudella olevaa varianttia toistetaan, kun käytössä on enemmän kaistanleveyttä. Käytettävän kaistanleveyden laskiessa toistettavan videon laatua lasketaan myös tarpeen mukaan ja toistettavaksi valitaan matalamman bittinopeuden variantti.

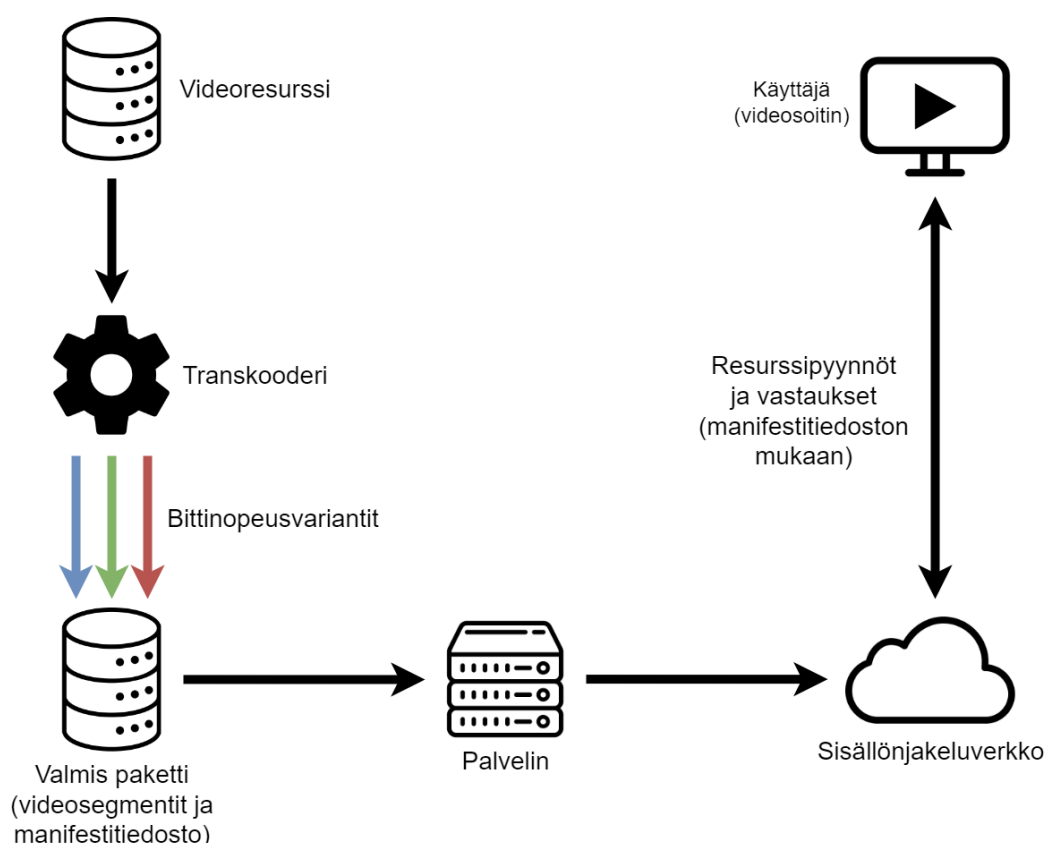
Tarkemmin kuvattuna adaptiivinen suoratoisto on siis metodi suoratoistaa videota, missä toistettava video on transkoodattu useille eri bittinopeuksille. Tärkeimmät



Kuva 4: Adaptiivisen suoratoiston toiminnan mallinnus kaistanleveyden ja tukkeutumisen avulla

adaptiivisen suoratoiston teknologiat on toteutettu HTTP:n pohjalle. Jokainen eri bittinopeuden virroista on lisäksi segmentoitu pieniin, usean sekunnin kestoisiin segmentteihin. Yhden segmentin kesto vaihtelee käytettävän toteutuksen mukaan, mutta segmentin pituus on usein kahden ja kymmenen sekuntin väliltä [21]. Segmentit nimetään ja jaotellaan yksilöivästi, jonka jälkeen niistä koostetaan oikean järjestyksen mukainen soittolista. Tämä kyseinen soittolista rakentuu yleensä laadun mukaan lohkoihin jaotelluista numeroiduista videosegmenteistä ja audiosegmenteistä (riippuu toteutuksesta). Yleisesti käytössä on kahta tapaa: limitetty (engl. multiplexed) ja epälimitetty (engl. non-multiplexed). Limitetyssä toteutuksessa video- ja audiosegmentit ovat limittäin sijoitettu samalle tietovirralle ja ne ladataan peräkkäin vuorotellen samasta tietovirrasta. Limittämättömässä toteutuksessa käytössä on kaksi tietovirtaa: yksi videosegmenteille ja toinen audiosegmenteille. Tiedostoa, joka kertoo päätelaitteelle tämän kyseisen soittolistan sisällön ja tiedostojen peräkkäisen järjestyksen sekä muut videon toistamiseen tarvittavat tiedot, kutsutaan manifestiksi tai manifestitiedostoksi. [20]

Havainnollistava kaavio HTTP-perusteisen adaptiivisen suoratoistoteknologian, kuten DASH ja HLS (joista kerrotaan tarkemmin seuraavissa kappaleissa), käytöstä ja toiminnasta on esitetty kuvassa 5. Kun käyttäjä alkaa katsomaan videota verkkoselaimellaan (esimerkiksi YouTube:n kautta), verkkoselain lataa ensimmäisenä videota koskevan manifestitiedoston. Tämän jälkeen verkkoselain selvittää manifestitiedostosta, mitä resursseja sen pitää ladata videon toistamiseksi. Selain tekee resurssipyyntöjä sisällönjakeluverkolle, jossa mediaresurssit sijaitsevat valmiina la-



Kuva 5: HTTP-perusteisen adaptiivisen suoratoiston toimintaperiaatteen visualisointi

dattavaksi, manifestitiedoston mukaisesti, jonka jälkeen kyseiset resurssit eli video- ja audiosegmentit ladataan sisällönjakeluverkosta käyttäjän laitteelle. Kun tarvittavat resurssit eli ensimmäinen tai ensimmäiset videosegmentit on ladattu käyttäjän laitteelle, verkkoselaimen videosoitin alkaa toistamaan videota. Jotta videon katselu ei olisi pätkivää, sisällönjakeluverkosta ladataan usein kerralla useampi segmentti varastoon puskuriksi, jos se on verkon käytettävissä olevan kaistanleveyden puitteissa mahdollista. Puskuriksi ladattavien segmenttien määrä vaihtelee toteutuksesta ja saatavilla olevasta kaistanleveydestä: mitä nopeampi yhteys ja enemmän kaistanleveyttä, sitä enemmän videosegmenttejä ehditään ladataan puskuriin. Ladattavien videosegmenttien laatu valitaan yleensä aina edellisten segmenttien lataamisen jälkeen. Ohjelmisto tarkistaa saatavilla olevan kaistanleveyden, jonka mukaan valitaan kaistanleveystikkaasta, josta on esimerkki taulukossa 4, sopivan laatuinen videosegmentti tai -segmentit ladattavaksi. [20]

HTTP-pohjaisia adaptiivisen suoratoiston teknologioita on useampia, joista kaksi tämän hetken merkittävintä ovat Dynamic Adaptive Streaming over HTTP sekä HTTP

Taulukko 4: Esimerkki siitä, miltä Dynamic Adaptive Streaming over HTTP:n kaistanleveystikas voisi näyttää. [22]

Kaistanleveys	Laatu
5,0 Mb/s	1080p
4,0 Mb/s	720p
3,2 Mb/s	640p
2,0 Mb/s	480p
1,0 Mb/s	270p

Live Streaming. Näitä kahta teknologiaa hyödyntävät useimmat suoratoisto- ja video-palvelut, kuten YouTube, Netflix, Disney+ ja Amazon Prime. Syynä HTTP-pohjaisen adaptiivisen suoratoistoteknologian suosioon on videoiden jakamisen helppoudessa. Koska sekä DASH että HLS perustuvat HTTP:hen, ne voivat kulkea minkä tahansa tavallisen palomuurin tai välityspalvelimen läpi, jotka sallivat tavanomaisen HTTP-liikenteen, joka ei ole mahdollista esimerkiksi UDP:hen perustuvassa RTP:ssä (Real-time Transport Protocol). Tämän takia DASH:in ja HLS:n hyödyntämiä viedoresursseja voidaan jakaa HTTP-pohjaisilla, laajasti tavoitettavissa olevilla sisällönjakeluverkoilla, jotka helpottavat viedoresurssien saatavuutta entisestään.

DASH

Dynamic Adaptive Streaming over HTTP, joka tunnetaan myös nimillä DASH ja MPEG-DASH, on ensimmäinen standardoitu HTTP-pohjainen adaptiivinen suoratoistoteknologia. DASH sai alkunsa, kun Moving Picture Experts Group (MPEG) teki CFP:n HTTP-pohjaisesta suoratoistostandardista vuonna 2009, jonka jälkeen sen kehitystyö alkoi vuonna 2010, johon osallistui useita alan yrityksiä ja organisaatioita. Alkuperäinen DASH-standardi julkaistiin huhtikuussa 2012, jonka jälkeen se on uusittu vuosina 2019 ja 2022. Teknologian osalta DASH toimii Media Source Extensioneiden (MSE) avulla, jotka mahdollistavat moderneissa selaimissa JavaScriptin lähettää tavuvirtoja selaimen mediakoodekkeihin ja sitä kautta esittää videota suoraan HTML5-teknologioilla. DASH on laajalti tuettu pitkälti kaikissa muissa selaimissa, paitsi Safarissa [23].

HLS

HTTP Live Streaming, josta käytetään usein lyhennettä HLS, on Applen kehittämä DASHia vastaava HTTP:hen perustuva adaptiivinen suoratoistoteknologia. HLS jul-

kaistiin vuonna 2009 ja on julkaisunsa jälkeen ollut hyvin laajasti tuettuna erilaisissa mediasoittimissa, verkkoselaimissa ja mobiililaitteissa. Esimerkiksi vuonna 2018 HLS oli yhä DASH:tä suositumpi alan kehittäjien keskuudessa [25]. Teknologian osalta HLS voi selaimesta riippuen toimia joko natiivisti tai MSE:n avulla, kuten DASH. HLS on tuettu kaikissa moderneissa selaimissa. [24]

5 Vertailu

Pintapuolisesti tarkasteltuna adaptiivisen videokuvan katselu ei eroa juuri mitenkään eri selaimilla. Isoimmat erot käyttäjälle näkyvät selainten erilaisten käyttöliittymien ja muiden ominaisuuksien muodossa. Kuitenkin eroja esimerkiksi videon latausnopeudessa sekä laadussa voi ilmetä, johtuen käytetystä videon eri koodekista tai formaatista, joiden tuki vaihtelee selaimittain. Tästä selkeimpänä esimerkkinä lie-nee AV1, jota Safari ei tue lainkaan tällä hetkellä, kun taas muut selaimet tukevat AV1-koodattuja videoita. AV1:n erinomainen pakkaussuhde sekä korkea laatu tiedostokokoon nähden voivat näkyä erona nopeudessa ja laadussa käyttäjille.

Suurimmat erot videoiden adaptiivisessa suoratoistossa verkkoselaimilla piilee ulko-kuoren alla käytettävissä teknologioissa. Eri videopalvelut suosivat joko DASH:ä tai HLS:ää ja täten samaa selainta käyttäessä eri videopalveluiden videot voivat olla toimitettu eri menetelmällä. Vaikka videopalvelulla olisi suuri preferenssi DASH:ä kohtaan, on videopalvelun kuitenkin pakko tarjota videoita myös HLS:llä, sillä muuten kaikki Safari-käyttäjät jäisivät ilman videoita. Ottaen Safari-käyttäjien suuren määrän huomioon, kyseessä on tarpeeksi iso osuus videoiden katsojakunnasta, ettei videopalvelut voi jättää heitä huomiotta. Toisin sanoen Apple pakottaa videopalvelut tarjoamaan videonsa myös HLS:n avulla, sillä Safariin ei ole lisätty DASH-tukea. Esimerkiksi YouTube on ilmoittanut käyttävänsä DASH:ä aina kun mahdollista [26]. Myös Netflix on ilmoittanut tähtäävänsä tarjoamaan videosisältönsä lähtökohtaisesti DASH:llä ja mieluiten AV1-koodattuna [27]. Kuitenkin molemmat näistä videopalveluista tarjoaa sisältöä myös HLS:llä, aivan kuten muutkin videopalvelut.

Eroja selainten välillä on myös käytetyissä koodekeissa. Siinä missä Safari ei tue AV1:tä, eivät Chrome, Firefox, Opera ja Edge tue H.265/HEVC:tä, toisin kuin Safari. Safari on siis ainoa, joka tukee lisenssimaksullista HEVC:tä korkeampana laatu- vaihtoehtona H.264/AVC:n sijasta, kun taas muilla selaimilla käytössä on koodekit H.264/AVC, VP9 ja AV1, joista valtaosa on lisenssimaksuttomia. Muilla selaimilla on siis huomattavasti enemmän vaihtoehtoja koodekkien suhteen ja preferoivat usein monien videopalveluiden lailla ilmaisia vaihtoehtoja.

Havaittavissa on siis kahta koulukuntaa: Apple ja muut alan toimijat. Apple on käytännössä pakottanut teknologiavalintoja siirtoprotokollan ja koodekkien muodossa ja täten pakottanut videopalvelut tarjoamaan sisältöä sen sanelemilla ehdoilla, sillä tarpeeksi iso osa internetin videopalveluiden käyttäjistä käyttää Safaria selaimenaan.

6 Yhteenveto

Kaiken kaikkiaan modernit työssä tarkastellut verkkoselaimet ovat hyvin samanlaisia, ja niissä on monipuolisesti erilaisia ominaisuuksia. Selainmoottoreita on käytössä vain 3 (WebKit, Gecko ja Blink), joista Blink on selkeästi käytetyin.

Nykyään videoformaatteja on olemassa hyvin monenlaisia, mutta niistä erityisesti MP4 ja WebM ovat laajassa käytössä internetin suoratoistovideopalveluissa. Sekä MP4 että WebM omaavat todella hyvän pakkaussuhteen, eli niihin voidaan säilöä laadukasta videosisältöä pitämällä tiedostokoko kuitenkin minimissä. Molempiin formaatteihin voidaan säilöä useammalla eri koodekilla koodattua video- ja audiodataa. MP4 on näistä kahdesta monipuolisempi formaatti, sillä WebM lähtökohtaisesti tukee ainoastaan ilmaisia video- ja audiokoodetteja.

Tämän hetken käytetyimmät videokoodetit ovat H.264/AVC, VP9, H.265/HEVC ja AV1. Edellä mainitusta neljästä koodekista AVC ja HEVC ovat lisenssimaksullisia, kun taas VP9 ja AV1 ovat ilmaisia. Edellä mainituista H.264/AVC ja VP9 on tuettu kaikissa selaimissa. H.265/HEVC on tuettu vain Safarissa, kun taas muut selaimet tukevat sen sijasta AV1:tä paremman laadun koodekkina.

Lähes kaikki adaptiivisen suoratoiston videot toimitetaan HTTP:hen perustuvilla teknologioilla. Näistä kaksi tärkeintä toteutusta ovat DASH ja HLS, joilla lähes kaikki adaptiivinen suoratoisto tuntuu olevan toteutettu internetissä. DASH ja HLS ovat toimintaperiaatteeltaan lähes identtiset, sillä niiden suurimmat erot löytyvät lähinnä manifestitiedostosta. Molemmissa video on jaettu pieniin, muutaman sekunnin mittaisiin segmentteihin ja kaikki segmentit on saatavissa myös eri laatuina. Ladattava laatu valitaan aina käytettävissä olevan kaistanleveyden mukaan, jolloin toisto on katkotonta.

Tutkimuksessa havaitaan, että kaikki käsitellyt selaimet ovat varsin toimivia käytötarkoituksensa ja täten selainvalinnalla ei ole paljoa merkitystä yleisesti ottaen adaptiivisen suoratoistovideon katselussa. Tutkimus kuitenkin antaa osviittaa, että paras selainvalinta olisi todennäköisesti Google Chrome, sillä se hyödyntää ja tukee lähtökohtaisesti uusimpia teknologioita ja omaa laajimman käyttäjäkunnan. Tutkimus myös osoittaa, että käsitellyistä selaimista Safari olisi huonoin, sillä se tukee vähemmän protokollia ja teknologioita, kuin esimerkiksi kilpailijansa.

Viitteet

- [1] M. Hauben, R. Hauben. *Behind the Net: The Untold History of the ARPANET and Computer Science (Chapter 7)*. Verkkodokumentti. Viitattu: 27.2.2022. Saatavissa: [doi:10.5210/fm.v3i8.612](https://doi.org/10.5210/fm.v3i8.612).
- [2] *Measuring digital development: Facts and figures 2021*. ISBN 978-92-61-35401-5. 2021. Telecommunication Development Bureau, International Telecommunication Union (ITU). Viitattu: 27.2.2022. Saatavissa: <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2021/>.
- [3] *Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestön tieto- ja viestintätekniikan käyttö*. ISSN 2341-8699 [verkkojulkaisu]. 2018. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu: 27.2.2022. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/sutivi/2018/sutivi_2018_2018-12-04_tie_001_fi.html.
- [4] T. Berners-Lee. *The WorldWideWeb browser*. Verkkodokumentti. Viitattu: 15.3.2022. Saatavissa: <https://www.w3.org/People/Berners-Lee/WorldWideWeb.html>.
- [5] *What is a URL?*. Verkkodokumentti. Viitattu: 15.3.2022. Saatavissa: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Common_questions/What_is_a_URL.
- [6] *Desktop Browser Market Share Worldwide Feb 2022*. StatCounter Globalstats. Viitattu: 15.3.2022. Saatavissa: <https://gs.statcounter.com/browser-market-share/desktop/worldwide/#monthly-202202-202202-bar>.
- [7] *Top Desktop Browsers Market Share in February 2022*. Similarweb. Viitattu: 29.3.2022. Saatavissa: <https://www.similarweb.com/browsers/worldwide/desktop/>.
- [8] D. Nield. *Which Browser Engine Powers Your Web Browsing — And Why Does It Matter?*. 12.4.2019. Verkkodokumentti. Viitattu: 16.3.2022. Saatavissa: <https://gizmodo.com/which-browser-engine-powers-your-web-browsing-and-why-d-1833935288>.
- [9] *Digitaalisen television kehitysvaiheet Suomessa*. Verkkodokumentti. Viitattu: 24.3.2022. Saatavissa: <https://www.digita.fi/antennitv/>

vapaat-kanavat-ja-vastaanotto/hyodyllista-tietoa-tvsta/
kehitysvaiheet/.

- [10] *Video Codec*. Verkkodokumentti. Viitattu: 30.3.2022. Saatavissa: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/video-codec>.
- [11] *Browser support tables for modern web technologies — Can I use video format?*. Verkkodokumentti. Viitattu: 24.3.2022. Saatavissa: <https://caniuse.com/?search=video%20format>.
- [12] G. Maayan. *8 Best Video File Formats for 2020*. Verkkodokumentti. Viitattu: 24.3.2022. Saatavissa: <https://www.computer.org/publications/tech-news/trends/8-best-video-file-formats-for-2020>.
- [13] *Choosing the right video format*. Verkkodokumentti. Viitattu: 24.3.2022. Saatavissa: <https://www.adobe.com/uk/creativecloud/video/discover/best-video-format.html>
- [14] *Web video codec guide*. Verkkodokumentti. Viitattu: 30.3.2022. Saatavissa: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Media/Formats/Video_codecs.
- [15] *Codecs*. Verkkodokumentti. Viitattu 8.9.2022. Saatavissa: <http://mp4ra.org/#/codecs>.
- [16] *About WebM*. Verkkodokumentti. Viitattu: 30.3.2022. Saatavissa: <https://www.webmproject.org/about/>.
- [17] *Frequently Asked Questions - WebM* Verkkodokumentti. Viitattu: 8.9.2022. Saatavissa: <https://www.webmproject.org/about/faq/>.
- [18] *streaming / Definition, Meaning and Facts / Britannica*. Verkkodokumentti. Viitattu: 17.5.2022. Saatavissa: <https://www.britannica.com/topic/streaming-data-transmission>.
- [19] *Stadia - Yksi paikka kaikille pelitavoille*. Verkkodokumentti. Viitattu: 17.5.2022. Saatavissa: <https://stadia.google.com/>.
- [20] *What is MPEG-DASH Video Streaming Protocol? How Does MPEG-DASH Work?*. Verkkodokumentti. Viitattu: 8.9.2022. Saatavissa: <https://ottverse.com/mpeg-dash-video-streaming-the-complete-guide/>

- [21] *Optimal Adaptive Streaming Formats MPEG-DASH HLS Segment Length*. Verkkodokumentti. Viitattu: 1.6.2022. Saatavissa: <https://bitmovin.com/mpeg-dash-hls-segment-length/>.
- [22] *MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) Explained*. Verkkodokumentti. Viitattu 1.9.2022. Saatavissa: <https://corp.kaltura.com/blog/mpeg-dash/>.
- [23] *Browser Compatibility Of Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP (MPEG-DASH) On Safari 7.1*. Verkkodokumentti. Viitattu 7.9.2022. Saatavissa: <https://www.lambdatest.com/web-technologies/mpeg-dash-support-on-safari-7.1>.
- [24] *MPEG-DASH vs HLS: Which One Should You Use?*. Verkkodokumentti. Viitattu: 8.9.2022. Saatavissa: <https://www.spiceworks.com/tech/programming/guest-article/mpeg-dash-vs-hls-which-one-should-you-use/>
- [25] *Video Developer Report 2018*. Verkkodokumentti. Viitattu: 6.9.2022. Saatavissa: <https://go.bitmovin.com/hubfs/Bitmovin-Video-Developer-Report-2018.pdf>.
- [26] *Why YouTube Netflix use MPEG-DASH in HTML5*. Verkkodokumentti. Viitattu: 7.9.2022. Saatavissa: <https://bitmovin.com/mpeg-dash-youtube-netflix-html5/>.
- [27] *Netflix Now Streaming AV1 on Android*. Verkkodokumentti. Viitattu: 7.9.2022. Saatavissa: <https://netflixtechblog.com/netflix-now-streaming-av1-on-android-d5264a515202>