

Roope Tirronen

Yleisötapahuumien tietoliikenneeratkaisut

Tietotekniikan kandidaattitutkielma

12. tammikuuta 2023

Jyväskylään yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Roope Tirronen

Yhteystiedot: tirrazy@student.jyu.fi

Ohjaaja: Tytti Saksa

Työn nimi: Yleisötapahentumien tietoliikennerratkaisut

Title in English: Cellular network solutions for crowded events

Työ: Kandidaatintutkielma

Opintosuunta: Tietotekniikka

Sivumäärä: 21+0

Tiivistelmä: Tässä tutkielmassa selvitetään, millaisilla ratkaisuilla saadaan langattomat verkot toimimaan paremmin yleisötapahentumissa tai ylipäättään tilanteissa, joissa usea käyttäjä pyrkii pienellä alueella käyttämään langattomia verkkoja.

Avainsanat: Yleisötapahentumat, tietoliikenne, 5G, langattomat verkot, verkon suorituskyky, solu, matkapuhelinverkot, ad hoc -verkot, laitteiden välinen kommunikaatio, kuormantasaus, opportunistiset verkot, ylikuormituksen estäminen, UAV, dronet

Abstract: This dissertation examines what different solutions there are to make wireless networks perform better in crowded events or crowded environments in general.

Keywords: Crowded events, telecommunications, 5G, wireless networks, network performance, cell, cellular network, ad hoc networks, device-to-device communication, load balancing, opportunistic networks, mobile network performance, traffic offloading, wireless coverage, UAV, drones

Kuviot

Kuvio 1. Matkapuhelinverkon rakenne. Perustuu TNUDA 2019 sivun kuvioon	2
Kuvio 2. Matkapuhelinverkon ja mobile ad hoc -verkon topologinen ero (Hoebeke ym. 2004).....	9
Kuvio 3. Opportunistisen verkon toiminta. Perustuu Liu ja Chen 2010 artikkelin kuvaan..	10

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	MATKAPUHELINVERKKOJEN TOIMINTA	2
3	FYYSISET RATKAISUT	5
3.1	Laitteiden välinen kommunikaatio	5
3.2	Dronet	6
4	OHJELMISTOJEN AVULLA TEHTÄVÄT RATKAISUT	8
4.1	Ad hoc -verkot	8
4.2	Kuormantasaus	9
4.3	Opportunistiset verkot	10
5	5G JA SEN TUOMAT RATKAISUT	12
6	YHTEENVETO	14
	LÄHTEET	15

1 Johdanto

Yleisötapahtumissa sadat tai jopa tuhannet osallistujat haluavat käyttää langatonta verkkoa yhtä aikaa. Näihin tapahtumiin osallistujat käyttävät yhä enemmän puhelimia esimerkiksi kuvien tai videoiden ottamiseen ja niiden julkaisemiseen sosiaalisessa mediassa. Osallistujat myös pitävät toisiinsa tai ulkomaailmaan yhteyttä erilaisten verkossa olevien sovelluksien kautta. Yleisötapahtumista johtuva yhtäkkinen tarve laajakaistalle aiheuttaa yhä ongelmia operaattoreille.

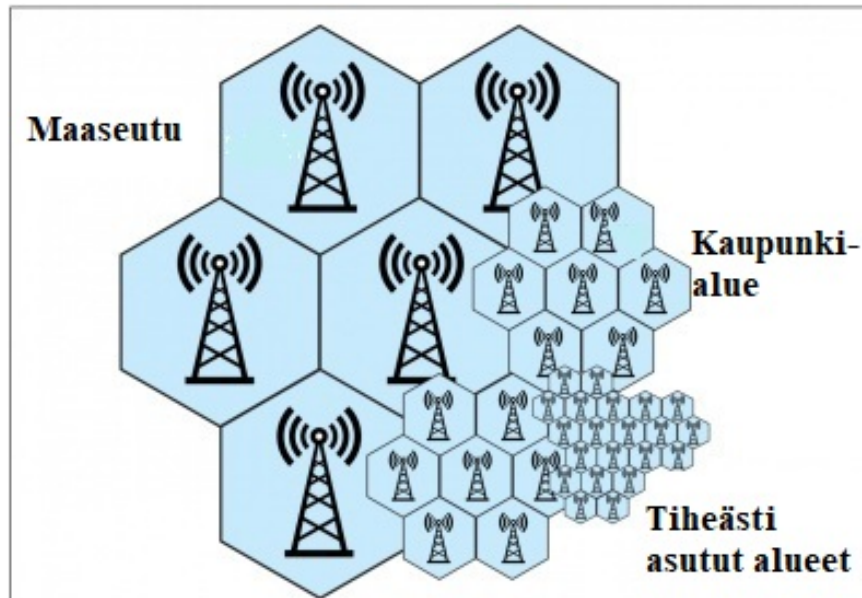
Kun useampi käyttäjä yrittää käyttää verkkoa samanaikaisesti, se aiheuttaa yhteyksien hidastumista - jopa siihen pisteeseen asti, että verkossa olevia sovelluksia ei pysty joko käyttämään tai käyttö on todella hidasta. Kuruvatti, Klein ja Schotten 2015 toteavatkin, että esimerkiksi stadioneilla järjestettävissä tapahtumissa on suuri määrä verkon käyttäjiä yhtä aikaa, mikä aiheuttaa verkossa ruuhkaa, joka saattaa haitata käyttäjäkokemusta. Tässä tutkielmassa tutustutaan erilaisiin keinoihin, joita käytetään tietoliikenteen sujuvoittamiseen yleisötapahtumissa.

Tutkielmassa ensin perehdytään matkapuhelinverkon toimintaan ja käsitellään tutkielman aiheen kannalta tärkeitä termejä kuten solu. Seuraavaksi tarkastellaan fyysisiä ratkaisuja eli mahdollisuuksia käyttää erilaisia laitteita tukiasemina ja pohditaan, mikä tukiasema tulevaisuudessa ylipäättään voisi olla. Seuraavaksi tutustutaan muutama ohjelmistopohjaiseen tai verkon optimointiin perustuvaan ratkaisuun, joiden avulla verkkoon kohdistuvaa kuormitusta saadaan kevennettyä käyttäjäkokemuksen parantamiseksi. Lopuksi tutustutaan 5G:hen ja sen mahdollistamiin ratkaisuihin alueilla, joilla 5G on saatu yleiseen käyttöön. Tämä tarkastelu tehdään sen takia, että osa lähdekirjallisuudesta on tehty 4G:n aikaan ja uudet teknologiat saattavat parantaa aikaisemmissa tutkimuksissa havaittuja puutteita.

Tutkielman perusteella voidaan todeta, millaisia erilaisia keinoja tai teknologioita, joilla tietoliikenteen toimivuutta yleisötapahtumissa voidaan parantaa, on olemassa. Tutkimusten perusteella on löydetty useita verkkoa parantavia teknologioita, mutta niitä ei ole vielä testattu käytännössä tai teknologia ei ole vielä ollut tarpeeksi kehittyntä. Tutkielmasta selviää myös yleisimmät nykypäivänä käytettävät ratkaisut.

2 Matkapuhelinverkkojen toiminta

Matkapuhelinverkko on tietoliikenneverkko, jonka toiminta perustuu tukiasemien ja matkapuhelimien väliseen kommunikaatioon. Puhelin ja tukiasema siirtävät dataa edestakaisin radioaaltoja hyödyntämällä. Tukiasemat on yhdistetty toisiinsa kiinteästi valokuitukaapelien avulla. Tätä kokonaisuutta kutsutaan kiinteäksi verkoksi. Kiinteä verkko siirtää käyttäjän puhelimesta lähtevän radioaaltosignaalin suoraan tai mikroaaltolinkin välittämänä (Säteilyturvakeskus 2019). Solulla (engl. *cell*) tarkoitetaan "samaa maantieteellistä aluetta palvelevan, tiettyyn tukiasemaan kuuluvan lähetin-vastaanottimen peittoaluetta" ("Paikannussanasto (TSK 30)" 2002).



Kuvio 1. Matkapuhelinverkon rakenne. Perustuu TNUDA 2019 sivun kuvioon.

Kuviossa 1 on hahmoteltu karkeasti, miten solujen muoto ja koko määräytyvät maantieteellisen käyttöalueen perusteella. Tukiasematyyppit voidaan jakaa käyttöalueen perusteella makro-, mikro- ja pikosolutukiasemiin. Makrosolutukiasemia käytetään tilanteissa, joissa halutaan kattaa suuri peittoalue kuten maaseudulla. Kaupungeissa käytetään mikrosolutukiasemia ja tiheästi asutuilla alueilla kuten kaupunkien keskustoissa käytetään pikosolutukiasemia (Säteilyturvakeskus 2019). Tukiasematyyppit eroavat toisistaan myös esimerkiksi lähetystehon ja antennin fyysisen sijainnin perusteella. Matkapuhelinverkkoa voidaan kut-

sua myös solukoverkoksi useiden solujen muodostaman peittoalueen takia. Kun käyttäjä liikkuu yhden tukiaseman muodostaman solun peittoalueelta toiselle, pysyy käyttäjän laitteen yhteys verkkoon jatkuvana, koska laite ottaa tyypillisesti yhteyden siihen soluun, johon käyttäjällä on voimakkain signaali.

Matkapuhelinverkoissa käyttäjät käyttävät yhteistä rajattua taajuusaluetta, jonka sisällä operaattorit pyrkivät jakamaan taajuusaluetta edelleen käyttäjien kesken niin, että käyttäjien yhteyksien välillä tapahtuva interferenssi pysyy rajallisena (Miao ym. 2016a). Taajuusalueen jakaminen käyttäjien kesken tekee taajuusalueesta rajallisen resurssin, mikä väkisin saattaa johtaa jossain vaiheessa tilanteeseen, että taajuusalue loppuu. Miao ja kumppanit (2016) määrittelivät, että verkon kapasiteetilla tarkoitetaan siirrettävän datan maksimimäärää, jota jaetaan käyttäjien kesken. He myös tunnistivat infrastruktuuriin kuuluvien kustannusten, energian kulutuksen ja taajuusalueen tasapainottamisen olevan avainongelmia langattomissa verkoissa.

Yleisötapahtumissa kuten musiikkifestivaaleilla tai urheilutapahtumissa useampi osallistuja yrittää käyttää tukiasemien muodostamaa langatonta verkkoa yhtä aikaa, mikä johtaa verkon ruuhkautumiseen ja osallistujat kokevat verkon hitaaksi. Käyttäjien kokemus verkon hitaudesta saa heidät yrittämään ottaa yhteyttä verkkoon uudestaan tai esimerkiksi lähettämään viestinsä uudestaan, mikä edelleen lisää verkon ruuhkautumista (Castagno ym. 2017). Erman ja Ramakrishnan huomasivat myös vuonna 2013 omassa tutkimuksessaan, että verkon hitautta esiintyy, kun nousevan siirtotien, (engl. *uplink*) tietoliikenne kasvaa suhteessa laskevaan siirtotiehen (engl. *downlink*). Tässä kontekstissa nouseva siirtotie on yhteys puhelimesta tukiasemaan ja laskeva siirtotie on yhteys tukiasemasta puhelimeen.

Vaikka langattomat matkapuhelinverkot ja tekniikat ovat kehittyneet vuosien varrella huomattavasti, esimerkiksi 3G:stä nykyiseen 5G:hen ja tulevaisuudessa 6G:hen, ja tunnistettuihin ongelmiin on kehitetty ratkaisuja, on näiden verkkojen hallinta edelleen monimutkaista. Nukkuvalla solulla esimerkiksi (engl. *sleeping cell*) tarkoitetaan solua, jonka suorituskyky on huonontunut tai jossa on tapahtunut katkos. Nukkuva solu on verkkopalveluntarjoajien näkökulmasta hankala tila solulle, koska tällaisessa tilassa solun toimimattomuudesta on vaikea saada suoraa tietoa matkapuhelinverkon valvontajärjestelmiin (Zoha ym. 2014). Käyttäjä huomaa nukkuvat solut yleisimmin matkapuhelinverkon huonosta suorituskyvystä ja käyttä-

jien palaute onkin yksi tavoista, joilla nukkuvat solut havaitaan. Nukkuvat solut ovat lisäksi erityisen yleisiä yleisötapahtumissa, kun käyttäjiä on paljon (Baena ym. 2021). Nukkuvat solut osoittavat, että langattomissa matkapuhelinverkoissa ja niiden hallinnassa on edelleen kehittämisen varaa, vaikka teknologia on ottanutkin harppauksia eteenpäin.

3 Fyysiset ratkaisut

Seuraavissa osioissa tutustutaan fyysisiin ratkaisuihin, jotka hyödyntävät erilaisia laitteita tai laitteistoja, millä paikalliseen kapasiteettiongelmaan voidaan vaikuttaa. Andreev ym. 2019 mukaan yleisin ratkaisu tällä hetkellä on lisätä solujen eli kokonaiskapasiteetin määrää alueilla, joilla kysynnässä esiintyy epäsäännöllisyyksiä. Toisin sanoen alueen yhteyteen tuodaan lisää tukiasemia. Tämä tosin ei ole heidän mukaansa täysin ongelmaton ratkaisu, koska interferenssin hallinta ja operaattoreille muodostuvat kustannukset nousevat samalla. Toisaalta tähän ratkaisuun on tähän asti varmaan päädytty osaltaan kustannustehokkuuden, riittämättömän tutkimustiedon tai riittämättömän teknologian takia.

3.1 Laitteiden välinen kommunikaatio

Tapahtumiin osallistuvien henkilöiden laitteet voivat kommunikoida keskenään ilman erillistä tukiasemaa, jotta tukiasemiin kohdistuvaa kuormitusta voidaan vähentää. Laitteiden välisen kommunikaation (engl. *Device-to-Device*, *D2D*) täytyy tapahtua lähietäisyydeltä, jotta dataa voidaan siirtää kahden laitteen välillä. Lisäksi on huomattu, että laitteiden välisellä kommunikaatiolla voidaan parantaa viivettä, vähentää tukiasemien resurssien käyttöä ja käyttäjien laitteiden välistä interferenssiä (Abbasi ym. 2021). Laite, jossa on hyvä verkko-yhteys voi myös Kar ja Sanyal 2018 mukaan toimia hotspottina ja varastoida dataa, jota osallistujat voivat ladata omilla laitteillaan.

Kehittyneen teknologian ansiosta yhä useampi käyttötavara kuten auto on mahdollista yhdistää verkkoon ja toimia päätelaitteena. Laitteiden välisellä kommunikaatiolla on rooli IoT:n mahdollistamisessa (Kar ja Sanyal 2018), minkä avulla voidaan hyödyntää uusia laitteita verkon päätelaitteina ja reitittiminä. Andreev ym. 2019 toteavatkin, että suorituskykyisten ja verkkoon yhdistettävien laitteiden määrä ja monimuotoisuus on kasvussa. He toteavat, että samalla kun käyttäjien laitteiden toiminnallisuudet kasvavat niin solujen koko pienenee, mikä avaa uusia mahdollisuuksia käyttäjien laitteiden hyödyntämisessä. Kirjallisuuden perusteella voidaankin todeta, mitä useampi reitittimenä toimiva laite alueen sisällä on, sitä enemmän alueen verkolla on kapasiteettia.

Laitteiden välisessä kommunikaatiossa on myös omat haasteensa. Kar ja Sanyal 2018 mukaan ajankohtaisia haasteita ovat muun muassa muiden laitteiden löytäminen tehokkaasti, tietoturva ja käyttäjien laitteiden välinen synkronisaatio, minkä Abbasi ym. 2021 tunnistaivat myös omassa tutkimuksessaan yhdeksi haasteeksi laitteiden välisessä kommunikaatiossa. Tietoturvan osalta Kar ja Sanyal 2018 toteavat, että laitteiden välinen kommunikaatio tarjoaa paremman tietoturvan, koska tietoa ei säilötä yhteen keskitettyyn paikkaan. Toisaalta heidän mukaansa keskitetyn paikan puuttuminen vaikeuttaa myös turvallisuustoimenpiteiden toteuttamista, jolloin käyttäjien on vaikeampi piilottaa omaa henkilökohtaista dataansa. Käyttäjien laitteiden keskinäinen kommunikaatio avaa uusia mahdollisuuksia verkkojen ylikuormittamisen estämiseksi. Kuitenkin kun kyseessä on käyttäjien omien laitteiden käyttö, tulee välttämättä yhdeksi haasteeksi käyttäjien halukkuus käyttää omaa laitettaan tällaisessa tarkoituksessa. Tämän takia laitteiden välisen kommunikaation hyödyntäminen suuressa mittakaavassa saattaa olla haastavaa.

3.2 Dronet

Lähdekirjallisuudesta löytyy useampi tutkimus erilaisista tukiasemaratkaisuksista, jotka hyödyntävät tukiasemien liikkumista tai liikuttamista jollain tavalla. Tietoliikennealalla on tukiasemien kohdalla useita vuosia käytetty staattisia ratkaisuja ja alati kasvavan tietoliikenteen määrä sekä käyttäjien muuttuneet tarpeet vaativat pohdintaa siitä, mikä tukiasema on (Andreev ym. 2019). Yhtäkkinen liike tietyn alueen sisällä sekä sisä- että ulkotiloissa luo kapasiteetin tarpeelle epäsäännöllisyyksiä, mikä aiheuttaa verkkopalveluntarjoajille yhä hankaluuksia (Mehta ja Prasad 2017). Pohtimalla uudelleen sitä, mikä tukiasema on, voidaan vastata tämän tyyppisiin dynaamisiin tarpeisiin, joita nykyajan käyttäjällä matkapuhelinverkoista on.

UAV:ita eli miehittämättömiä ilma-aluksia, joita voidaan myös kutsua droneiksi, ollaan hyödynnetty erilaisin tavoin esimerkiksi pelastustehtävissä tai militaristisissa tarkoituksissa jo jonkin aikaa. Sawalmeh ym. 2017 selvittivät, miten droneja voitaisiin käyttää langattoman yhteyden tarjoamisessa henkilöille, jotka osallistuvat hajjiin eli muslimien vuosittaiseen Mekkaan tehtävään pyhiinvaellukseen. Pyhiinvaellukseen osallistuu jopa miljoonia osallistujia viikon aikana (Sawalmeh ym. 2017), joten alueella valmiiksi olevat tukiasemat kuormittu-

vat tapahtuman aikana huomattavan paljon. Pyhiinvaeltajat liikkuvat useita kilometrejä kaupungin ympäristössä, joten droneja hyödyntävä langaton verkko voisi olla perusteltu ratkaisu. Dronet pystyisivät toimimaan staattisten tukiasemien kanssa rinnakkain ja keventämään staattisiin tukiasemiin kohdistuvaa kuormaa toimimalla tukiasemina (Sawalmeh ym. 2017) ja tällä tavoin uusia staattisia tukiasemia ei välttämättä tarvitsisi rakentaa hajjin kaltaista tapahtumaa varten, joka järjestetään kerran vuodessa.

Shakhatreh ym. 2019 kartoittivat erilaisia dronejen käyttökohteita, joista yksi oli dronen käyttö tukiasemana. Heidän mukaansa droneja hyödynnetään erityisesti pienten ylläpito-kustannusten, helpon käyttöönoton, hyvän liikkuvuuden ja leijumisen takia. He mainitsevat myös, että droneja voitaisiin käyttää satelliittien kanssa ja mahdollistaa korkeat tiedonsiirtonopeudet saumattomasti todella laajoille alueille. Signaalin ylläpidon osalta he mainitsevat haasteiksi, miten dronen ja tukiasemien välillä olevat esteet kuten rakennukset häiritsevät signaalia. He myös toteavat, että jännevaimennus eli lähetetyn signaalin tehon väheneminen, on erilaista, kun siirrytään maalta taivaalle. Haasteina ovat myös, miten droneja verkon kanssa käytetään, miten verkkoa konfiguroidaan dronejen kanssa tehokkaasti ja miten käyttäjien dataa kerätään ja analysoidaan (Yang ym. 2017). Dronejen turvallinen käyttö, akkujen vaihto ja lainsäädäntö niiden käytössä ovat myös asioita, joita todennäköisesti pohditaan ennen kuin niitä otetaan laajalti käyttöön yleisötapahtumien yhteydessä. Kaikesta huolimatta dronejen avulla voidaan tarjota kustannustehokas ratkaisu verkon toiminnan parantamiseen, myös alueilla, joilla langattoman verkon infrastruktuuria ei ole.

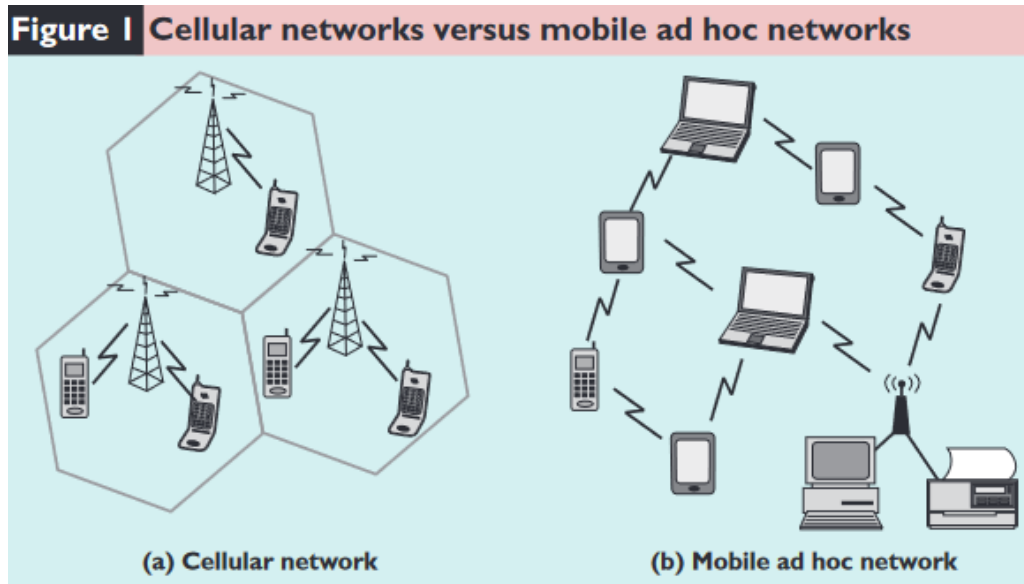
4 Ohjelmistojen avulla tehtävät ratkaisut

Tässä kappaleessa keskitytään ratkaisuihin, joissa käytetään ohjelmistoja tai optimoidaan verkkoa alueilla, joissa ihmisiä on paljon. Ohjelmistojen avulla tehtävillä ratkaisulla tai verkon optimoinnilla voidaan parantaa nykyisten langattomien verkkojen toimintaa, minkä avulla voidaan esimerkiksi vähentää verkon infrastruktuurin rakentamiseen kuluvia kustannuksia.

4.1 Ad hoc -verkot

Ilman tukiasemaa toimiviin verkkoihin kuuluvat ad hoc -verkot. Tätä tutkielmaa ajatellen oleelliset ad hoc -verkkotyypit ovat MANET (engl. *Mobile Ad Hoc Network*), SPAN (engl. *Smartphone Ad Hoc Network*) ja HANET (engl. *Hovering Ad Hoc Network*). Ero laitteiden välisessä kommunikaatiossa ja ad hoc -verkoissa on se, että ad hoc -verkot toimivat itsenäisesti ja ikään kuin muodostavat oman verkkotopologiansa laitteiden kesken. Laitteet voivat lähietäisyydellä kommunikoida toistensa kanssa suoraan ja tarvittaessa toimivat välillisesti reitittiminä laitteille, jotka eivät ole kommunikointietäisyydellä (Hoebcke ym. 2004). Fyysisiä ratkaisuja voidaan yhdistää ohjelmistopohjaisiin ratkaisuihin. Mehta ja Prasad 2017 visioivat, että useat eri korkeuksilla lentävät UAV:t voisivat myös muodostaa keskenään useamman UAV:n ryhmiä, jotka tarjoaisivat ad hoc -verkon yleisötapahtuman osallistujille.

Kuviossa 2 vasemmalla on kuvattuna solun sisällä oleva tukiasema ja siihen yhdistetyt laitteet ja oikealla puolella MANET-verkko. Kuviossa 2 voidaan huomata, millainen topologinen ero perinteisellä matkapuhelinverkolla ja MANET-verkolla on. Kuvion oikealle puolelle voitaisiin erilaisten laitteiden tilalle asettaa esimerkiksi droneja ja verkko muistuttaisi HANET-verkkoa, mutta toimintaperiaate pysyisi samana kuin kuvioon kuvatussa MANET-verkossa eli laitteet pystyvät muodostamaan verkon keskenään.



Kuvio 2. Matkapuhelinverkon ja mobile ad hoc -verkon topologinen ero (Hoebeke ym. 2004)

4.2 Kuormantasaus

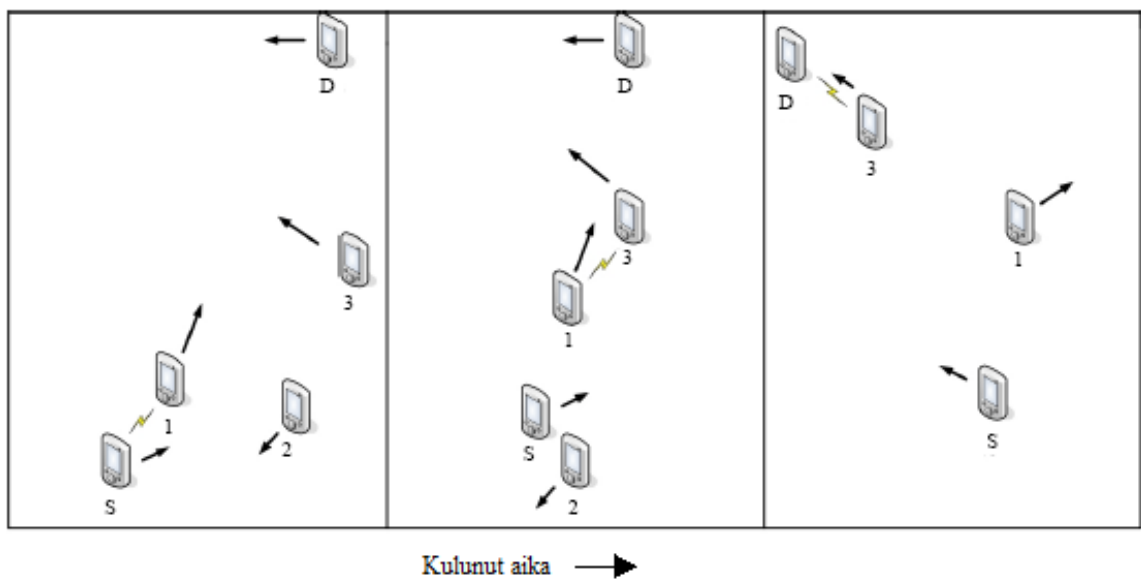
Ihmiskoukto aiheuttavat soluissa epätasapainoa kuormittamalla yhtä alueen solua enemmän kuin muita, mikä puolestaan johtaa verkon huonompaan suorituskykyyn solun sisällä (Torres ym. 2021). Miao ym. 2016b mukaan kuormantasauksessa (engl. *load balancing*) käyttäjiä voidaan jakaa kuormittuneelta solulta viereisille soluille, mikä auttaa sekä kuormittuneen solun käyttäjiä että viereisen solun käyttäjiä, joille kapasiteettia ei kuormittuneelta solulta riitä. Heidän mukaansa yksinkertainen tapa toteuttaa kuormantasaus on vaihtelemalla solujen sisällä olevien signaalien tehoa. Tätä tekniikkaa kutsutaan termillä "cell breathing". Kuormantasaus on Torres ym. 2021 mukaan tärkeimpiä keinoja resurssien jakamiseksi käyttäjien välillä ja tätä kautta verkon ylikuormituksen estämiseksi, mutta sitä ei ole heidän mukaansa suunniteltu nykyajan verkkojen dynaamisiin tarpeisiin.

Torres ja kumppanit (2021) kehittivät tutkimuksessaan kuormantasausjärjestelmän, joka hyödyntää dataa, joka muodostettiin osallistujien yhteisestä kiinnostuksesta tapahtumaa kohtaan, esimerkiksi sosiaalisessa mediassa. Perinteiset kuormantasausjärjestelmät käyttävät heidän mukaansa dataa, jota kerätään verkosta ja käyttäjien laitteista, ei niinkään sosiaalisen median kaltaisista lähteistä. Esiitetty kuormantasausjärjestelmä pystyi konfiguroimaan verkon

asetuksia paremmin, jolloin käyttäjien jakaminen solujen välillä parani. Kuormantasausjärjestelmien kaltaisten teknologioiden avustamana, voidaan massatapahtumien verkkojen asetuksia määrittellä entistä paremmin, minkä avulla verkkojen toimivuutta saadaan parannettua.

4.3 Opportunistiset verkot

Opportunistiset verkot (engl. *Opportunistic Network*, *OppNet*) ovat MANET:sta kehittyneitä verkkoja. Opportunistissa verkoissa laitteet muodostavat lähietäisyydellä olevien laitteiden kesken dynaamisen verkon, jossa laitteet pystyvät keskenään jakamaan sisältöä tai lähettämään esimerkiksi viestin (Manole ym. 2021). Eron MANET:iin tekee se, että opportunistiset verkot eivät vaadi tai varastoi tietoa verkon topologiasta kuten reititystauluista (Manole ym. 2021). Opportunistisen verkon laitteet toimivat solmuina, jotka esimerkiksi viestiä lähettäessä tunnistavat parhaan seuraavan laitteen, jolla viesti saadaan perille. Jos sopivaa seuraavaa laitetta ei löydy, talletetaan viesti laitteeseen siihen asti, että mahdollisuus seuraavaan sopivaan laitteeseen löytyy viestin saamiseksi perille (Rahul ja Amita 2021).



Kuvio 3. Opportunistisen verkon toiminta. Perustuu Liu ja Chen 2010 artikkelin kuvaan.

Kuviossa 3 laite S pyrkii lähettämään viestin laite D:lle. Laitteista lähtevät nuolet kuvastavat laitteen fyysistä liikettä eli esimerkiksi käyttäjän kävelyä puhelin taskussaan. Lähettäjälaite S ei tiedä suoraa reittiä D:n luokse, joten se siirtää viestin laitteelle 1. Laite 1 löytää

mahdollisuuden kommunikoida laitteen 3 kanssa, joten viesti siirtyy laitteelle 3, joka lopulta saa lähetettyä viestin laitteelle D. Kuviossa havainnollistuu, miten laitteet OppNeteissä kommunikoivat toistensa kanssa ja miten dataa siirretään laitteelta toiselle, jotta viesti pääsee askeleen lähemmäs määränpäättänsä.

Manole ym. 2021 tunnistivat, että opportunististen verkkojen reititysprotokollat ovat toimiva ratkaisu suurten yleisö tapahtumien aiheuttamaan kuormaan. He keskittyivät tutkimuksessaan erityisesti musiikkifestivaaleihin ja kehittivät opportunistisia verkkoja hyödyntävän reititysprotokollan. Heidän tekemissään simulaatioissa selvisi, että opportunistisia verkkoja hyödyntävä reititysprotokolla toimi perinteisiä protokollia paremmin esimerkiksi, kun viesti piti saada lähettäjältä vastaanottajalle. Heidän ehdottamaansa mallia ei ole kuitenkaan testattu vielä simulaattorin ulkopuolella, joten lisätutkimusta aiheeseen liittyen tarvitaan vielä.

5 5G ja sen tuomat ratkaisut

Kappaleessa pohditaan, miten 5G ja siihen liittyvät teknologiat voisivat auttaa tilanteissa, joissa verkko on poikkeuksellisen kuormittunut. Tutkielmassa käytetyt 4G:n näkökulmasta tehdyt tutkimukset ovat edelleen ajankohtaisia siihen asti, että 5G saadaan käyttöön koko maailmassa. TNUDA (2019) on arvioinut, että 5G saadaan laajalti käyttöön vuonna 2025.

5G:tä voidaan pitää mahdollistajana edellisille tutkielmassa esiin tuoduille ratkaisuille. 5G tulee lisäämään taajuusaluetta, jolla käyttäjien laitteet pystyvät olemaan yhteydessä langattomiin verkkoihin. Aikaisemmat tekniikat ovat käyttäneet mobiililaitteissa enimmäkseen alle 6 GHz:n taajuuksia (Barb ja Otesteanu 2020), mutta 5G tulee käyttämään taajuuksia jopa 24 GHz:n ja 86 GHz:n välillä (TNUDA 2019). Korkeampien taajuuksien käyttö mahdollistaa käyttäjille nopeammat yhteydet. Korkeampi taajuusalue ja radioaaltojen aaltoluonne tarkoittavat myös, että 5G-verkoissa on hieman lyhyemmät etäisyydet verrattuna 4G-verkkoon, ainakin tilanteissa, joissa tarvitaan nopeita, yli 6 GHz:n yhteyksiä.

Barb ja Otesteanu (2020) toteavat, että 5G-verkossa useampi laite pystyy kerralla olemaan yhteydessä verkkoon kuin 4G-verkoissa. Tämä on mahdollista yhä pienempien solujen ja 5G-verkkoihin liittyvien teknologioiden kuten MIMOn (engl. *Multiple Input, Multiple Output*) ja sen mahdollistaman säteen ohjaamisen (engl. *beam steering*) tai säteen muodostuksen (engl. *beamforming*) avulla (TNUDA 2019). TNUDAn mukaan MIMOn avulla yhä useampi käyttäjä pystyy olemaan yhteydessä verkkoon ja sitä voidaan ajatella IoT-laitteiden vaatiman kapasiteetin mahdollistajana. Aikaisemmillä tekniikoilla tukiasemien säteily on kohdistunut suurelle alueelle. Säteen ohjaamisella tarkoitetaan sitä, että 5G-verkoissa tukiasemien säteilyä pystytään keskittämään tarkemmin suoraan käyttäjiä kohden, mikä tarjoaa käyttäjille suuremmat tiedonsiirtonopeudet (Säteilyturvakeskus 2020).

5G-verkkoja voidaan myös hallinnoida ja valvoa paremmin aikaisempiin teknologioihin verrattuna. Verkon käyttömahdollisuuksien hallinta (engl. *Network accessibility control*) on tärkeää, kun mahdollisimman monelle käyttäjälle halutaan taata riittävä suorituskyky (Li ym. 2021). Li ym. 2021 mukaan käyttömahdollisuuksien hallintaan kuuluu esimerkiksi pääsynvalvonta (engl. *access control*), jonka avulla voidaan priorisoida, ketkä pääsevät käyttä-

mään verkkoa. He mainitsevat myös, että 5G-verkot tukevat verkon viipalointia, minkä avulla voidaan jakaa verkkoa eri käyttäjätarpeisiin. Tapahtumiin liittyen verkon viipalointi vaikuttaa lupaavalta teknologialta, koska sen avulla pystyttäisiin jakamaan verkkoa esimerkiksi tapahtuman turvallisuuden kannalta kriittisten laitteiden ja osallistujien välillä.

Koska 5G mahdollistaa muun muassa yhä useampien laitteiden samanaikaisen yhteyden verkkoon, voidaan ajatella sen olevan toimiva tekniikka myös yleisötapahtumien verkkoyhteyksien parantamiseksi. 5G-verkkojen käyttämät korkeammat taajudet pienentävät solujen kokoa, joten useammat solut tapahtuma-alueen yhteydessä mahdollistavat myös jakamaan käyttäjiä useammalle tukiasemalle. Lisäksi uudet pääsynhallintaan liittyvät tekniikat tuovat lupaavia uudistuksia seuraavan sukupolven verkkoihin, minkä ansiosta verkkojen toimintaa saadaan mahdollisesti parannettua yleisötapahtumissa.

6 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa perehdyttiin erilaisiin ratkaisuihin, joilla voidaan parantaa langattomien verkkojen toimintaa tilanteissa, joissa suuret väkijoukot pienellä alueella käyttävät alueen Wi-Fi yhteyttä tai laitteen mobiililaajakaistaa. Lopuksi pohdittiin, miten 5G voisi ratkaista näitä haasteita. Lähdekirjallisuudesta löytyi useampi erilainen teknologinen ratkaisu, joilla ylikuormittuneiden verkkojen toimintaa voidaan parantaa, mutta joita ei ole vielä otettu laajalti käyttöön tai testattu simulaattoreiden ulkopuolella.

Tapahtumiin osallistujille yhteydenpito ja sisällön jakaminen muiden kanssa ovat heille tärkeitä asioita. Suurten massatapahtumien kuten konserttien, urheilutapahtumien tai paraatien kaltaisissa ympäristöissä internetyhteyden toimivuus on yksi tärkeä osa käyttäjäkokemusta. Paremman käyttäjä- ja osallistujakokemuksen takaamiseksi voitaisiin hyödyntää esimerkiksi erilaisia reititysprotokollia tai osallistujien laitteiden muodostamia verkkoja, joilla voidaan keventää tukiasemiin kohdistuvaa kuormaa ja parantaa verkon toimivuutta. Alueilla, joilla peittoaluetta täytyy lisätä tai joilla on paljon katvealueita, voitaisiin hyödyntää droneja tukiasemina rinnakkain staattisten tukiasemien kanssa.

Yleisötapahtumien aiheuttamat haasteet langattomille verkoille ovat edelleen asioita, joihin ei ole kehitetty yhtä selkeää ratkaisua. Ongelma on lisäksi myös haasteellinen operaattoreiden näkökulmasta. Simulaatioiden ulkopuolella tehdyt tutkimukset antaisivat lisätietoa, miten kehitetyt ratkaisut toimisivat käytännössä. Kuitenkin kehittyvät teknologiat tarjoavat lupaavia mahdollisuuksia langattomien verkkojen kehittämiseen tapahtuma-alueilla. Erityisesti 5G:hen liittyvät teknologiat kuten pääsynhallinta ja IoT ovat lupaavia ja vaativat lisätutkimusta suurten yleisötapahtumien näkökulmasta.

Lähteet

Abbasi, Mahmoud, Amin Shahraki, Hamid R Barzegar ja Claus Pahl. 2021. “Synchronization techniques in “device to device-and vehicle to vehicle-enabled” cellular networks: a survey”. *Computers & Electrical Engineering* 90:106955.

Andreev, Sergey, Vitaly Petrov, Mischa Dohler ja Halim Yanikomeroglu. 2019. “Future of ultra-dense networks beyond 5G: Harnessing heterogeneous moving cells”. *IEEE Communications Magazine* 57 (6): 86–92.

Baena, Eduardo, Sergio Fortes, Özgü Alay, Min Xie, Håkon Lønsethagen ja Raquel Barco. 2021. “Cellular network radio monitoring and management through virtual ue probes: A study case based on crowded events”. *Sensors* 21 (10): 3404.

Barb, Gordana, ja Marius Ottesteanu. 2020. “4G/5G: A Comparative Study and Overview on What to Expect from 5G”. Teoksessa *2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 37–40. <https://doi.org/10.1109/TSP49548.2020.9163402>.

Castagno, Paolo, Vincenzo Mancuso, Matteo Sereno ja Marco Ajmone Marsan. 2017. “Why your smartphone doesn’t work in very crowded environments”. Teoksessa *2017 IEEE 18th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoW-MoM)*, 1–9. IEEE.

Hoebeke, Jeroen, Ingrid Moerman, Bart Dhoedt ja Piet Demeester. 2004. “An overview of mobile ad hoc networks: Applications and challenges”. *JOURNAL-COMMUNICATIONS NETWORK* 3 (heinäkuu): 60–66.

Kar, Udit Narayana, ja Debarshi Kumar Sanyal. 2018. “An overview of device-to-device communication in cellular networks”. *ICT express* 4 (4): 203–208.

Kuruvatti, Nandish P., Andreas Klein ja Hans D. Schotten. 2015. “Prediction of Dynamic Crowd Formation in Cellular Networks for Activating Small Cells”. Teoksessa *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2015.7146028>.

- Li, Jingya, Demia Della Penda, Henrik Sahlin, Paul Schliwa-Bertling, Mats Folke ja Magnus Stattin. 2021. “An Overview of 5G System Accessibility Differentiation and Control”. *IEEE Communications Standards Magazine* 5 (4): 104–111.
- Liu, Lianggui, ja Zhixin Chen. 2010. “Data Forwarding in Opportunistic Networks”. *Information Technology Journal* 9:215–223.
- Manole, Aida-Ştefania, Radu-Ioan Ciobanu, Ciprian Dobre ja Raluca Purnichescu-Purtan. 2021. “Opportunistic Network Algorithms for Internet Traffic Offloading in Music Festival Scenarios”. *Sensors* 21 (10): 3315.
- Mehta, Purnima Lala, ja Ramjee Prasad. 2017. “Aerial-heterogeneous network: A case study analysis on the network performance under heavy user accumulations”. *Wireless Personal Communications* 96 (3): 3765–3784.
- Miao, Guowang, Jens Zander, Ki Won Sung ja Slimane Ben Slimane. 2016a. *Fundamentals of mobile data networks*. 5–6. Cambridge University Press.
- . 2016b. *Fundamentals of mobile data networks*. 221–222. Cambridge University Press.
- “Paikannussanasto (TSK 30)”. 2002. Viitattu 10. joulukuuta 2022. https://sanastokeskus.fi/tsk/fi/paikannussanasto_tsk_30-362.html.
- Rahul, Sachdeva, ja Dev Amita. 2021. “Review of opportunistic network: Assessing past, present, and future”. *International Journal of Communication Systems*, <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/dac.4860>.
- Sawalmeh, Ahmad, Noor Shamsiah Othman, Hazim Shakhathreh ja Abdallah Khreishah. 2017. “Providing wireless coverage in massively crowded events using UAVs”. *Teoksessa 2017 IEEE 13th Malaysia International Conference on Communications (MICC)*, 158–163. IEEE.
- Shakhathreh, Hazim, Ahmad H Sawalmeh, Ala Al-Fuqaha, Zuochoa Dou, Eyad Almaita, Issa Khalil, Noor Shamsiah Othman, Abdallah Khreishah ja Mohsen Guizani. 2019. “Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges”. *Ieee Access* 7:48572–48634.

Säteilyturvakeskus. 2019. “Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat”. Viitattu 18. marraskuuta 2022. <https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/matkapuhelinverkon-toiminta-ja-tukiasemat>.

———. 2020. “5G-verkon säteilyturvallisuus”. Viitattu 23. joulukuuta 2022. <https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/5g-verkon-sateilyturvallisuus>.

TNUDA. 2019. “Cellular Fifth Generation (5G)”. Viitattu 10. joulukuuta 2022. <https://www.tnuda.org.il/en/physics-radiation/radio-frequency-rf-radiation/cellular-fifth-generation-5g>.

Torres, Renato, Sergio Fortes, Eduardo Baena ja Raquel Barco. 2021. “Social-Aware Load Balancing System for Crowds in Cellular Networks”. *IEEE Access* 9:107812–107823.

Yang, Peng, Xianbin Cao, Chao Yin, Zhenyu Xiao, Xing Xi ja Dapeng Wu. 2017. “Proactive drone-cell deployment: Overload relief for a cellular network under flash crowd traffic”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 18 (10): 2877–2892.

Zoha, Ahmed, Arsalan Saeed, Ali Imran, Muhammad Ali Imran ja Adnan Abu-Dayya. 2014. “A SON solution for sleeping cell detection using low-dimensional embedding of MDT measurements”. Teoksessa *2014 IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC)*, 1626–1630. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2014.7136428>.