

## Kohti terahertsin verkkoja



Wlan-verkkojen nopeuksien kasvu ei pysähdy. Gigabittiluokkaan päästään aivan lähiaikoina, mutta vielä tällä vuosikymmenellä hätyytellään jo sadan gigabitin sekuntinopeuksia.

LANGATTOMIEN verkkojen seuraava haamuraja on seitsemän gigabittiä sekunnissa. Tavoite tulee viihdeteollisuuden tarpeista: se riittää pakkaamattoman Full hd -videon siirtoon. Kilpailulla on kaksi vielä kehitysvaiheessa olevaa standardia, 802.11ac ja 802.11ad, joiden ennakoitua valmistuvan ensi vuonna.

Kuten tavanomaista, tuotteita tihkuu markkinoille jo ennen kuin standardit on lopullisesti hyväksytyt. Ensimmäiset 802.11ac-tukiasemat ja -sovitteet ovat jo myynnissä Suomessakin, mutta 802.11ad:n odotetaan ehtivän kauppoihin aikaisintaan ensi vuoden puolella. Mitä näiltä tuotteilta voidaan realistisesti odottaa?

### MIMON KAUNIS LUPAUS

Langattomien lähiverkkojen lupaukset puhuttavat, kun käyttäjien näkemät siirtonopeudet jäävät murto-osiin esitteissä luvatuista maksimeista. 802.11n-standardin valmistuessa suorituskyvyksi luvattiin jopa 600 megabittiä sekunnissa, mutta käytännön tuotteilla päästään harvoin kovin paljon toiselle sadalle.

Avainkäsitteitä ovat mimo, spatiaalinen limitus ja signaalien monitie-eteneminen. Kun sekä lähettimessä että vastaanottimessa on kaksi antennia ja niiden välisessä tilassa on riittävästi seinien, kattojen, lattioiden ja huonekalujen muodostamia heijastuspintoja, samalla taajuudella voidaan lähettää kahta rinnakkaista tietovirtaa, jotka voidaan purkaa vastaanottimissa erillisiksi niiden perille saapumisen hienoisien eriaikaisuuden perusteella.

Antennien määrää lisäämällä voidaan myös tietovirtojen määrää lisätä, mutta samalla lisätään laitteilta vaadittavaa laskentatehoa rajusti. Teoreettisiin maksimeihin päästään silti vain optioloissa.

- 802.11n-verkkojen nopeudet jäävät käytännössä usein kauas spesifikaatioiden maksimilukemista
- 802.11ac ryöstöviljelee viiden gigahertsin taajuusalueesta kaiken irti
- 802.11ad siirtyy aidosti gigabittiluokkaan uudella 60 gigahertsin taajuusalueella
- Lyhyt siirtoetäisyys kompensoidaan älykkäällä keilanmuodostuksella ja -suuntauksella
- Laboratoriovaiheessa olevat terahertsin verkot tähtäävät sadan gigabitin sekuntinopeuteen.

802.11n:llä yhden tietovirran maksimikapasiteetti on 150 megabittiä sekunnissa, ja kahden tietovirran mimo-laitteilla 300 megabittiä sekunnissa. Kolmea tietovirtaa tukevia 450 megabitin laitteita on myynnissä, mutta yksikään laitevalmistaja ei vielä liene tuonut markkinoille neljää tietovirtaa tukevia laitteita.

VIPPASKONSTEILLA UPEITA SPEKSEJÄ Seuraava askel on standardointiprosessin loppumetreillä etenevä 802.11ac. Se tarjoaa 802.11n:ään verrattuna kolme teknistä parannusta: kolmanneksen tehokkaamman koodaus- ja modulaatioalgoritmin (256-QAM), kaksin- ja nelinkertaiset kanavanleveydet (80 ja

160 megahertsia) sekä tuplasti mutkikkaamman spatiaalisen limituksen (kahdeksan mimo-tietovirtaa).

Kun nelinkertaisella kaistanleveydellä päästään 4,33 kertaa suurempaan bittivirtaan, nousee teoreettinen maksiminopeus 6,9 gigabittiin sekunnissa.

Käytännössä tähän ei ainakaan lähivuosina päästä, koska kahdeksan tietovirran spatiaalinen limitus reaailmailman oloissa on vain insinöörin päiväuni. Gigabitin nopeudet ovat kuitenkin jo realistisia.

Miinuspuolena on, että 802.11ac ryöstää viiden gigahertsin taajuusalueelta sen vahvimman valtin eli ruuhkattomuuden. Kun ensimmäinen 802.11a-standardi valmistui, sen käyttämiä 20 megahertsin levyisiä kanavia oli maa-kohtaisesta taajuusaluejosta riippuen vapaana parisenkymmentä. 802.11ac:n 80 megahertsin kanavia on neljäsosa tästä, ja 160 megahertsin levyisiä vapaita alueita löytyy vain yksi tai kaksi.

Tilanne on sama kuin 2,4 gigahertsin taajuusalueella 802.11g-standardin aikana: Yksi tuplaleveää kanavaa käyttävä "super-g-tukiasema" teki muille käyttäjille vaikeaksi löytää häiriöttömiä vapaita taajuuksia. 802.11n rajoittikin viisaasti 40 megahertsin kanavat viiden gigahertsin taajuusalueelle.

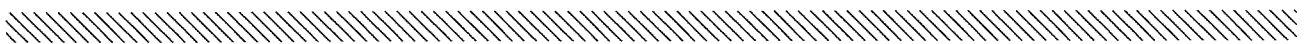
### NEITSEELLISIÄ TAAJUUKSIA PELIIN

802.11ad jättää nämä ongelmat taakseen siirtymällä aiemmin käyttämättömälle 60 gigahertsin taajuusalueelle. Siellä on tarjolla huikeita 2,16 gigahertsin levyisiä kanavia, joita EU:n alueella on vapaana peräti neljä kappaletta 57–66 gigahertsin välillä.

Suurella kaistanleveydellä päästään korkeisiin bittivirtoihin ilman spatiaalista limitustakin. 802.11ad-standardissa on useita koodaus- ja modulaatioalgoritmeja, joiden välillä valitaan sen mu-

Nopeiden langattomien lähiverkkotekniikoiden kirjo kasvaa lähiuosina huomasti. Käytännön siirtopuoleksia rajoittavat laitteiden toteutus ja käyttöolosuhteet. - Lähde: IEEE 802.15.1G1T1Z, 2012

Siirtopuoleus max.	72,2 Mbit/s	600 Mbit/s	290 Mbit/s	6,9 Gbit/s	4,6 Gbit/s	6,8 Gbit/s	10 - 100 Gbit/s
Kaistanleveys	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz	2,16 GHz		> 50 GHz
Taajuusalue	2,4 / 5 GHz		5 GHz			60 GHz	
	Pakollinen	Optio	Pakollinen	Optio	Pakollinen	Optio	(Alustava)
	802.11n		802.11ac		802.11ad		Terahertsit



KÄYTÄNNÖN SOVELLUKSIA  
 Mihin monigigabitista yhteyksiä sit-  
 ten voidaan käyttää? Harvassa koti-  
 verkossa on yli gigabitin Ethernetiä, ja  
 innokkaimpien näyttökorttien netityhtey-  
 det ylittävät harvoin sataa megabitia  
 sekunnissa. Retittimisessä 802.11ad:ta  
 ei ensi alkuun tullaakaan näkemään.  
 Ulkoisten näyttölaiteiden liittäminen  
 lisäksi todennäköinen sovellus on mat-  
 kamikron langaton telakka, jossa on gi-

60 gigahertsin taajuusalue onkin hou-  
 kutellut viihde-elektroniiikkateollisuutta.  
 Jo vuonna 2006 perustettu Wirelless HDMI  
 -konsortio julkaisi specifiikaatiostaan vuo-  
 sina 2008 ja 2010 versiot 1.0 ja 1.1, joista jäl-  
 kimmäinen ylittää 7,1 gigabitin sekunnis-  
 sa. Langattoman hdmi-yhteyden käyttö on  
 kuitenkin jäänyt vähäiseksi.  
 Kilpailleva Wirelless Gigabit -allianssi  
 puolestaan sai omat WiGig-specifiikkaa-  
 tionsa valmiiksi vuosina 2010 ja 2011.  
 WiGig ja 802.11ad ovat fyysiseltä kerrok-  
 seltaan kutakuinkin yhteneviä.

Yhteyden luontin tarvitavalla ohjau-  
 kää, kuinka korkealaatuinen yhteys on  
 käytännössä tarjolla.  
 60 gigahertsin taajuusalue signaalin  
 kyky edetä ja läpäistä erilaista fyysistä  
 esteitä on vaatimaton verrattuna viiden  
 gigahertsin alueeseen. Koska laitteiden  
 välille tarvitaan lähestulkoon näköyhtey-  
 ys, 802.11ad soveltuu parhaiten huoneen  
 sisäisiin sovelluksiin.  
 60 gigahertsin taajuusalue onkin hou-  
 kutellut viihde-elektroniiikkateollisuutta.  
 Jo vuonna 2006 perustettu Wirelless HDMI  
 -konsortio julkaisi specifiikaatiostaan vuo-  
 sina 2008 ja 2010 versiot 1.0 ja 1.1, joista jäl-  
 kimmäinen ylittää 7,1 gigabitin sekunnis-  
 sa. Langattoman hdmi-yhteyden käyttö on  
 kuitenkin jäänyt vähäiseksi.

60 gigahertsin taajuusalue onkin hou-  
 kutellut viihde-elektroniiikkateollisuutta.  
 Jo vuonna 2006 perustettu Wirelless HDMI  
 -konsortio julkaisi specifiikaatiostaan vuo-  
 sina 2008 ja 2010 versiot 1.0 ja 1.1, joista jäl-  
 kimmäinen ylittää 7,1 gigabitin sekunnis-  
 sa. Langattoman hdmi-yhteyden käyttö on  
 kuitenkin jäänyt vähäiseksi.  
 Kilpailleva Wirelless Gigabit -allianssi  
 puolestaan sai omat WiGig-specifiikkaa-  
 tionsa valmiiksi vuosina 2010 ja 2011.  
 WiGig ja 802.11ad ovat fyysiseltä kerrok-  
 seltaan kutakuinkin yhteneviä.

Kahdeksan tietoviran  
 spatiaalinen limitys  
 reaali maailman oloissa  
 on vain insinöörin päiväuni.  
 Gigabitin nopeudet ovat  
 kuitenkin jo realistisia.

gabitin ethernet-, usb 3.0- ja esata-litän-  
 toja. Toki niille voidaan keksiä käytöä  
 ohjelmistojen liittämiseksi myös mat-  
 kapuhelimiin ja tabletteihin.  
 Laitteiden fyysisen toteutuksen kan-  
 nalta 60 ja viiden gigahertsin taajuus-  
 alueilla on merkittävä ero. Koska jälkim-  
 mainen vaatii noin viiden senttimetrin  
 mittaiset antennit, joiden pitää mimo-  
 toteutuksia varten vielä olla vähintään  
 saman etäisyyden päässä toisistaan,  
 matkapuhelimeissa on nähty vasta yhden  
 antennin ja yhden tietoviran 802.11n-  
 toteutuksia.

Soveltamismahdollisuudet ovat kui-  
 tenkin houkuttelevia, mistä riittänee  
 yksi esimerkki. Internetissä toimivasta  
 videovuokruuksesta on haaveiltu vuosia,  
 mutta käytännössä viimeisen kilometrin  
 hitaus tekee palvelusta luokattomia. Sa-  
 dan gigabitin nopeudella kahden tunnin  
 Full hd -elokuva siirtyisi matkapuheli-  
 men muistiin neljässä sekunnissa lähi-

Avaruuden tyhjiössä terahertsin aallot  
 etenevät esteettä, mutta ilmakehä ja var-  
 sinkin sen kosteus vaimentavat signaa-  
 lita tehokkaasti. Terahertsin liikennöinti  
 soveltuukin maan pinnan tasolla vain  
 hyvin lyhyille matkoille. Käytännössä  
 etäisyydet jäävät senttimetreistä muuta-  
 maan metrin.

laitteesta suoraan vastinlaitteeseen ja  
 päinvastoin, samassa rinnakkain toisaan  
 häiritsemättä (Multi-User MIMO).  
 TERAHERTSI HÄÄMÖTTÄÄ  
 IEEE:n 802.15-työryhmissä toimii tera-  
 hertsin taajuusalueen käyttöä tutkiva  
 IGTHz-ryhmä, joka tähtää seuraavaan  
 kertaluokkaan eli sadan gigabitin siirto-  
 nopeuksiin. Sitä ei ole vielä muodostettu  
 virallista työryhmää, mutta toiminta on  
 aktiivista ulottuen tutkintuslaboratori-  
 oiden tulosten keräämisestä potentiaalis-  
 ten sovelluskohteiden kartoittamiseen.