



## **3G, 4G ja 5G**

Sukupolvesta seuraavaan

Timo Hyttinen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2012  
Tietotekniikka  
Tietoliikennetekniikka ja tie-  
toverkot

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikka  
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

Timo Hyttinen: 3G, 4G ja 5G – Sukupolvesta seuraavaan  
Opinnäytetyö 35 sivua  
Joulukuu 2012

---

Opinnäytetyöni aiheena oli tutkia langatonta tiedonsiirtoa, mobiiliteknologioiden käsitteitä ja kehitysvaiheita. Aiheen tähän sain koulutuspäällikkö Ari Rantalalta. Tämä aihe vaikutti haastavalta ja mielenkiintoiselta.

Opinnäytetyöni alussa on kuvaus langattomasta tiedonsiirrosta, sukupolvien kehityksestä, antennitekniologiasta ja modulaatiosta. Tätä seuraa lyhyt selvitys mihin tiedonsiirtonopeudet perustuvat. Tämän jälkeen on kerrottu 3G -, 4G - ja 5G teknologioista ja määritelmistä yleistä tietoa sekä 3G - ja 4G teknologioiden historiaa ja näiden tiedonsiirtonopeuksia. Lopussa on vielä lyhyesti vertailtu eroja 3G - ja 4G tekniikoiden välillä.

Tärkeimmät tiedonsiirtonopeuteen vaikuttavat tekijät ovat modulaatio ja antennien lukumäärä. Ilman useaa antennia ei pystyttäisi lähettämään suurta määrää dataa monella eri kanavalla. Modulaation avulla voidaan vielä olennaisesti nostaa lähetettävien bittien lukumäärää.

3G - ja 4G teknologioista ja määritelmistä tunnetaan parhaiten GPRS, UMTS, HSPA, HSPA+, WiMAX ja LTE tekniikat. Vähemmän tunnettuja teknologioita ja määritelmiä ovat FOMA, GAN/UMA ja UMB tekniikat. Jokaisesta 3G - ja 4G tekniikasta tai määritelmästä on ensin kerrottu yleistä sen tekniikasta ja historiasta siten datansiirtonopeuksista sekä taajuuksista.

Kolmannen - ja neljännen sukupolven välinen ero ei ole suuri, mutta kuitenkin verrattaessa 3G:n ja 4G:n ensimmäisiä standardeja on näiden välillä huomattava ero. Tulevan 5G-tekniikan tuomat parannukset voivat asettaa selvemmän rajan neljännen ja viidennen sukupolven välille.

Langattomat tiedonsiirtoverkot tulevat korvaamaan kaapeliyhteydet, koska langattomien verkkojen tiedonsiirtonopeudet ja viiveet eivät enää rajoita näiden käyttöä. Lisäksi langattomien verkkojen tiedonsiirtokeskusten ylläpitokustannukset ovat pienemmät.

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
ICT Engineering  
Telecommunications Engineering and Networks

Timo Hyttinen: 3G, 4G and 5G - From generation to next  
Bachelor's thesis 35 Pages  
December 2012

---

Topic of this bachelor's degree thesis was to study wireless communication, mobile technologies concepts and stages of development. I got this topic from training manager - Ari Rantala. This topic seemed challenging and interesting.

Beginning of thesis is description of mobile data transfer, the development of generations, antenna technology and modulation. This is followed by a brief explanation of data transfer speeds are based. After that there is a part where 3G-, 4G- and 5G technologies and specifications, as well as general information of 3G- and 4G technologies history and data transfer speed. At the end there is brief comparison of differences between 3G- and 4G technologies.

The main factors affecting to data transfer is modulation and number of antennas. Using multiple-antennas improves end-to-end network throughput. Modulation can increase substantially the transmission bits.

Best known technologies of 3G- and 4G technologies are GPRS, UMTS, HSPA, HSPA+, WiMAX and LTE technologies. Less known technologies and specifications are FOMA, GAN/UMA.

Between third- and fourth generation there is not great difference, but comparing difference between third generation first specification and fourth generation first there is greater gap. Maybe coming fifth generation will make clear line between fourth - and fifth generation.

Wireless data networks will replace the cable connections networks, because data transfer speed and delays are no longer restricting use of wireless technology. Also wireless networks have much smaller maintenance costs.

---

Key words: gprs, umts, hspa, lte, 3g, 4g, 5g

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	YLEISTÄ LANGATTOMASTA TIEDONSIIRROSTA .....	9
2.1	Sukupolvet .....	9
2.1.1	Ensimmäinen sukupolvi – 1G .....	9
2.1.2	Toinen sukupolvi – 2G.....	9
2.1.3	Kolmas sukupolvi – 3G.....	9
2.1.4	Neljäs sukupolvi – 4G.....	9
2.1.5	Viides sukupolvi – 5G.....	9
2.2	Antenni teknologia.....	10
2.2.1	SISO .....	10
2.2.2	SIMO.....	10
2.2.3	MISO.....	10
2.2.4	MIMO .....	11
2.3	Modulaatio .....	11
2.3.1	BPSK.....	12
2.3.2	QPSK .....	12
2.3.3	8-QAM .....	13
2.3.4	16-QAM.....	14
2.4	Symbolinopeus.....	15
2.4.1	LTE Esimerkki .....	15
3	Kolmas sukupolvi – 3G.....	17
3.1	Määritelmät .....	17
3.2	3G Matkapuhelin- ja datastandardeja .....	17
3.2.1	GPRS.....	18
3.2.2	W-CDMA.....	18
3.2.3	UMTS.....	19
3.2.4	FOMA .....	19
3.2.5	UMTS-TDD .....	20
3.2.6	EV-DO/TIA-856 .....	21
3.2.7	TD-SCDMA.....	22
3.2.8	GAN/UMA.....	23
3.2.9	HSPA .....	23
3.2.10	HSDPA.....	24
3.2.11	HSUPA.....	24
3.2.12	HSPA+ .....	25
3.2.13	CDMA2000.....	25

4	Neljäs sukupolvi – 4G .....	27
4.1	Määritelmät .....	27
4.2	4G- Matkapuhelin- ja datastandardeja .....	27
4.2.1	UMB.....	27
4.2.2	WiMAX .....	27
4.2.3	WiMAX 2 .....	28
4.2.4	LTE .....	28
4.2.5	LTE-Advanced.....	29
5	Viides sukupolvi – 5G.....	30
5.1	5G tilanne.....	30
5.2	Teknologia ja käsitteet .....	30
5.2.1	Joka paikan tietotekniikka.....	30
5.2.2	Solujen yhteistyö.....	30
5.2.3	Kognitiivinen radiotekniikka .....	31
5.2.4	Älykkäät antennit .....	31
6	VERTAILUA .....	32
6.1	3G.....	32
6.2	4G.....	33
6.3	5G.....	33
7	POHDINTA.....	34
	LÄHTEET.....	35

**LYHENTEET**

1xEV-DO - Evolution-Data Optimized

1G – Ensimmäisen sukupolven matkapuhelin standardi

2G – Toisen sukupolven matkapuhelin standardi

3G – Kolmannen sukupolven matkapuhelin standardi

3GPP – 3rd Generation Partnership Project

4G – Neljännen sukupolven matkapuhelin standardi

5G – Viidennen sukupolven matkapuhelin standardi

CDMA – Code Division Multiple Access

DC-HSDPA – Dual Cell High Speed Downlink Packet Access

FDD – Frequency-division duplexing

FOMA - Freedom of Mobile multimedia Access

GAN – Generic Access Network

GPRS – General packet radio service

GSM –Global System for Mobile communications

HSDPA – High Speed Downlink Packet Access

HSPA – High Speed Packet Access

HSUPA – High Speed Uplink Packet Access

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IMS – IP Multimedia Subsystem

ITU-T – United Nations telecommunications standard organization

LTE – Long Term Evolving

SIM – Subscriber Identity Module

SIP- Session Initiation Protocol

TD-CDMA – Time Division – Code Division Multiple Access

TD-SCDMA – Time Division – Synchronous Code Division Multiple Access

UMA – Unlicensed Mobile Access

UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

UMTS-TDD - Universal Mobile Telecommunications System time-division duplexing

UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Access Network

RTT - Round Trip Time

W-CDMA - Wideband Code Division Multiple Access

WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access

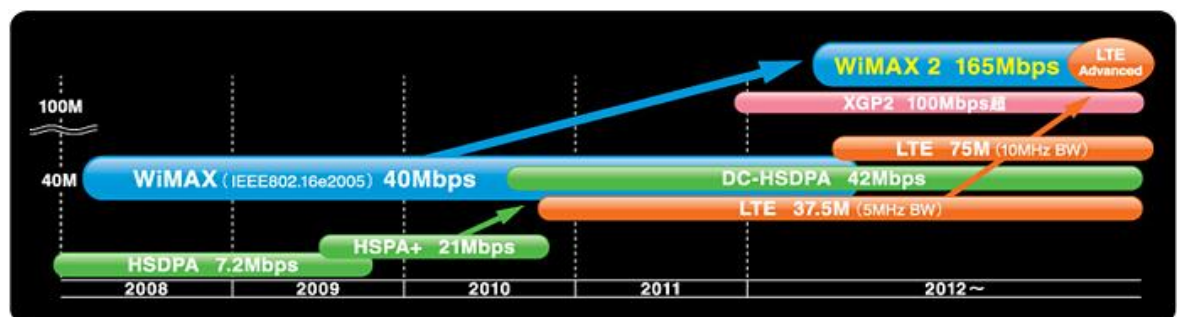
## 1 JOHDANTO

Matkapuhelin teknologia on kehittynyt viime vuosikymmeninä huimaa vauhtia 1G:stä tulevaan 4G teknologiaan ja siitä jo suunnitteilla olevaan 5G sukupolveen. Ihmisten tarve nopeampaan internetin selaukseen on saanut tämän aikaiseksi.

Ensimmäistä sukupolvea edustivat analogiset standardit kuten NMT. Toistaa sukupolvea digitaaliset standardit kuten GSM ja EDGE. Toisen sukupolven ja kolmannen sukupolven välissä kehitettiin mullistava GPRS pakettidata teknologia. Nyt käytössä oleva kolmas sukupolvi perustuu UMTS -tekniikkaan. Neljännen sukupolven LTE – tekniikka-verkot ovat jo valtaamassa markkinoita. Parhaillaan kehitetään ensimmäisiä viidennen sukupolven teknologioita.

Monet päätelaitteet tukevat 850 MHz aluetta, mutta vain osa uusista laitteista (vuonna 2009) tuki 900 MHz aluetta. Verkkojen kasvaessa ja käyttäjämäärien lisääntyessä otettiin käyttöön myös 1800 MHz taajuus alue, GSM verkkoja käytetään myös 1900 MHz taajuus alueella. Matkapuhelin verkkoja on eri taajuuksilla, mutta pääsääntöisesti 850 – 900 MHz ja 1800 – 1900 MHz taajuusalueilla.

Matkapuhelimia voi käyttää omalla SIM kortilla jokaisessa maailman maassa, jos oma puhelin ei toimi ulkomaisessa verkossa käyttäjä voi siirtää oman SIM kortin paikalliseen matkapuhelimeen. Omalla matkapuhelinoperaattorilla pitää kuitenkin olla sopimus kyseisen maan matkapuhelinoperaattoreiden välillä, jotta verkkovierailu onnistuu. Häätäpuhelut onnistuvat matkapuhelimilla ilman SIM korttiakin.



Kuva 1: 4G teknologian kehitys ja nopeus

Kuviossa 1 on esitetty muutamien 4G tekniikoiden tiedonsiirtonopeuksia ja milloin ne ovat otettu käyttöön.



## **2 YLEISTÄ LANGATTOMASTA TIEDONSIIRROSTA**

### **2.1 Sukupolvet**

Matkapuhelinteknologiassa puhutaan eri aikakausista sukupolvina. Uusi sukupolvi tulee käyttöön aina, kun on tekniikan katsottu kehittyneen tarpeeksi ja täyttävän seuraavan sukupolven kriteerit.

#### **2.1.1 Ensimmäinen sukupolvi – 1G**

1G tekniikan puhelimet olivat analogisia, ensimmäisiä matkapuhelimia. Vaikka aikaansa verrattuna tekniikka oli vallankumouksellinen, se tarjosi todella alhaisen taajuuden käytön, tehokkuuden ja tietoturvan.

#### **2.1.2 Toinen sukupolvi – 2G**

2G perustui digitaaliseen tekniikkaan, joka tarjosi reilusti paremman taajuuden käytön, tietoturvan ja paljon uusia ominaisuuksia, kuten tekstiviestinnän ja tiedonsiirron alhaisella nopeudella.

#### **2.1.3 Kolmas sukupolvi – 3G**

3G tarkoituksena on tarjota nopeampi datansiirto. Alkuperäisen suunnitelman mukaan datan siirtonopeus tulisi olla 14 Mbps tai enemmän.

#### **2.1.4 Neljäs sukupolvi – 4G**

Neljänteen sukupolveen kehitettiin uusi IP -pohjainen tekniikka, joka pystyy tuottamaan jopa 1 Gbps tiedonsiirtonopeuden.

#### **2.1.5 Viides sukupolvi – 5G**

Viidennen sukupolven tekniikan tulee tarjota merkittävää parannusta ja hyötyä, verrattuna aikaisempiin järjestelmiin.

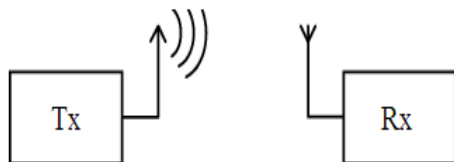
## 2.2 Antenni teknologia

Langattomaan tiedonsiirtoon kuuluu ainakin kaksi osapuolta; vastaanottaja ja lähettäjä. Vastaanotin merkitään kuviin lyhenteellä Rx (eng. receiver) ja lähettäjä lyhenteellä Tx (eng. transmitter).

Lähettävän antennin aiheuttamaa taajuus kantamaa nimitetään soluksi. Yhdessä solussa voi olla monta päätelaitetta vastaanottajana.

### 2.2.1 SISO

SISO, Single-input and Single-output tarkoittaa, että lähettimessä on yksi antenni ja vastaanottimessa on yksi antenni. Tyypillisin esimerkki SISO tekniikasta on bluetooth.



Kuva 2: SISO

### 2.2.2 SIMO

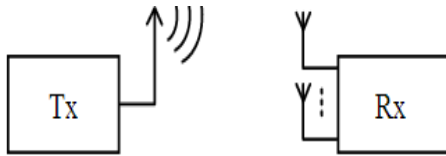
Vastaavasti SIMO tarkoittaa Single-input and Multiple-output, eli lähettimessä on vähintään kaksi antennia ja vastaanottimessa on yksi antenni.



Kuva 3: SIMO

### 2.2.3 MISO

MISO (Multiple-input and Single-output) tarkoittaa, että vastaanottimessa on vähintään kaksi antennia ja lähettimessä yksi antenni.



Kuva 4: MISO

### 2.2.4 MIMO

MIMO, Multiple-input and Multiple-output, on nykyisin tunnetuin ja eniten käytetty langaton tiedonsiirtotekniikka. MIMO – tekniikassa lähettimessä on vähintään kaksi antennia ja vastaanottimessa vähintään kaksi antennia.

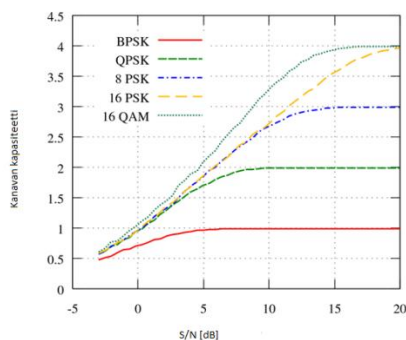


Kuva 5: MIMO

MIMO tekniikalla voidaan nostaa tiedonsiirtonopeutta antennien lukumäärää lisäämällä. Esimerkiksi jos vastaanottimessa ja lähettimessä on viisi antennia, niin tiedonsiirtonopeus kasvaa käytännössä viisinkertaiseksi mitä se olisi yhdellä antennilla. Uusimmissa teknologioissa siirrytään 8x8 MIMO tekniikkaan.

## 2.3 Modulaatio

3G - ja 4G tekniikassa käytetyimmät modulointimenetelmät ovat PSK ja QAM. Kuviossa 6 on esitetty erilaisia modulointimenetelmiä ja niiden signaali-kohina taso sekä kapasiteetti.



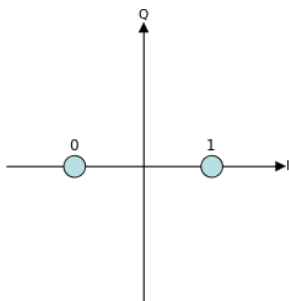
Kuvio 1: Kanava kapasiteetin suhde signaali kohina tasoon

PSK lyhenne tulee englannin kielisistä sanoista ”Phase Shift Keying”, joka on käännetty suomeksi vaiheavainnus. PSK tekniikassa tulkitaan vaihe eroja asteiden mukaisesti.

QAM lyhenne tulee englannin kielisistä sanoista ”Quadrature Amplitude Modulation”. QAM -tekniikassa yhdistetään amplitudi- ja vaihemodulaatio. Käytännössä QAM -signaali rakennetaan summaamalla kahta moduloitua aaltoa, jotka ovat 90 vaihesiirrossa toisiinsa nähden. Symmetria syistä modulaatio symbolien määrä nousee neljännen potenssin sarjassa (4, 16, 64, 256...) ja se ilmaistaan lyhenteen QAM edessä esimerkiksi 16-QAM.

### 2.3.1 BPSK

BPSK on yksinkertaisin vaiheavainnus modulaatiomenetelmä, jossa on kaksi vaihe-eroa. Tämä menetelmä pystyy käsittelemään vain yhden bitin symbolia kohden, kuten alla olevasta kuviosta huomataan. Tämä menetelmä ei sovellu nopeaan datan siirtoon. Kuitenkin BPSK vaiheavainnus modulaatiomenetelmässä on pienin S/N taso.



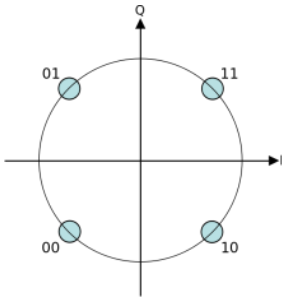
Kuva 6: BPSK- modulaatio

Binäärisessä vaiheavainnuksessa on vain kaksi arvoa ”0” ja ”1”. Kun arvoja on vain kaksi, on helppo määrittellä: vaihekulman ollessa 0 astetta, binäärin arvo on 0 ja vaihekulman ollessa 180 astetta, binäärin arvo on yksi.

### 2.3.2 QPSK

QPSK modulaatiomenetelmää voidaan verrata hyvin 4-QAM menetelmään, vaikka alkuasetelmat ovat erilaiset, silti lopuksi radio-aallot ovat samankaltaiset. QPSK käyttää

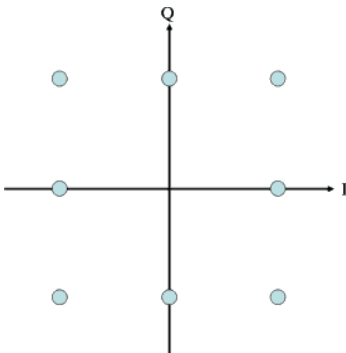
neljää pistettä kuviossa, tässä tapauksessa ympyrän kehällä. Neljässä eri vaiheessa QPSK – modulaatio pystyy esittämään kaksi bittiä symbolia kohden.



Kuva 7: QPSK/4-QAM

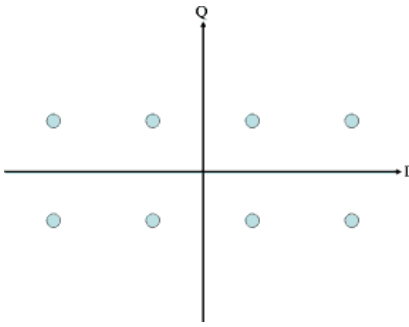
### 2.3.3 8-QAM

Alla on esitettyä kaksi erilaista 8-QAM modulaatio menetelmän kuviota. Molemmissa kuvioissa on minimi väli symbolipisteiden välillä, jonka vuoksi niissä on sama symbolivirhetaso.



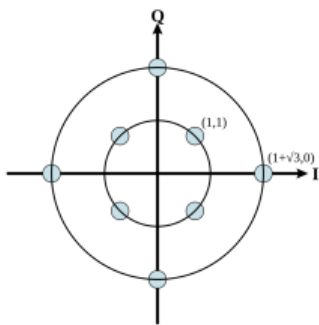
Kuva 8: 8-QAM

Kuviossa 9 esitetty 8-QAM modulaatiokartta on neliön muotoinen ja kuviossa 10 on esitetty nelikulmion muotoinen.



Kuva 9: 8-QAM

Kuviossa 11 on esitetty 8-QAM kartta, joka ei ole nelikulmainen.

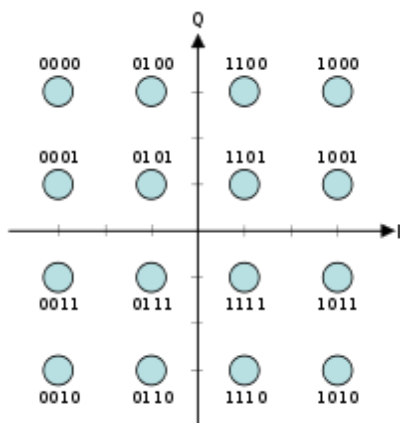


Kuva 10: 8-QAM ympyrä

Kaikkien näiden 8 QAM karttojen avulla voidaan esittää yhden symbolin aikana kolme bittiä.

### 2.3.4 16-QAM

16-QAM modulaatiomenetelmässä esitetään neljä bittiä yhden symbolin aikana.



Kuva 11: 16-QAM

## 2.4 Symbolinopeus

Digitaalisessa tiedonsiirrossa symbolinopeus esitetään myös baudina tai modulaationopeutena. Symbolinopeus on aaltomuodon - tai signaalinmuutos siirtomediassa sekuntia kohden, kun käytetään digitaalisesti moduloitua signaalia tai linjakoodausta. Jokainen symboli voi esittää tai välittää yhden tai useamman databitin. Symbolinopeus liittyy tiedonsiirtonopeuteen, mutta sitä ei tule sekoittaa tähän.

Kanavan leveys [MHz]	1,4	3	5	10	15	20
Radio kehysten lukumäärä [RB]	6	15	25	50	75	100

Kuvio 2: Kanavan leveys ja radiokehys

Joissakin telekommunikaatiolinkeissä kuten GPS lähetys ja CDMA matkapuhelimessa on käytössä suurempi symbolinopeus kuin datanopeus. Tällä siirtotavalla voi lähettää monta symbolia yhtä chip – databittiä kohden, jolloin sama kanavan taajuus voidaan jakaa monelle. Tämä tapa mahdollistaa radio-häirinnän, jota käytetään matka- ja sotilas-radiopuhelimissa.

Kun käytetään suurempaa kaistanleveyttä kuljettamaan samaa bittinopeutta, niin päästään matalan kanavan suurempaan spektrilliseen tehokkuuteen (bit/s)/Hz. Tämä sallii monta samanaikaista käyttäjää, mikä johtaa järjestelmän korkeaan spektrillisen tehokkuuden (bit/s)/Hz alueelliseen käyttöön.

### 2.4.1 LTE Esimerkki

Alla on laskettu LTE teknologian teoreettinen tiedonsiirtonopeus.

3GPP määritelmän mukaisesti:

- 1 radio kehys = 10 alikehys
- 1 alikehys = 2 aikaväliä
- 1 aikaväli = 0,5 ms (joten 1 aikaväli = 1 ms)
- 1 aikaväli = 7 modulaatio symbolia (kun normaali RB pituutta käytetään)
- 1 Modulaatio symboli = 6 bittiä, jos käytetään 64 QAM modulaatiota

LTE radioresurssi:

- 1 Radio kehys (RB) = 12 alikehystä

Oletetaan 20 MHz kanavan leveyttä (100 RB)

Tästä saadaan bittien lukumäärä alikehystä kohden:

$$= 100\text{RB} * 12[\text{alikehystä}] * 2[\text{aikaväliä}] * 7[\text{modulatio symbolia}] * 6\text{Bittiä}$$

$$= 100800 \text{ bittiä}$$

Datanopeus on 100800 bittiä/ 1ms = 100,8 Mbps

Jos käytetään 4x4 MIMO tekniikkaa, niin huippunopeus on:

$$4 * 100,8 \text{ Mbps} = 403 \text{ Mbps}$$

Jos käytetään  $\frac{3}{4}$  koodausta suojaamaan dataa, tällöin huippunopeus on:

$$0,75 * 403 \text{ Mbps} = 302 \text{ Mbps}$$



### 3 Kolmas sukupolvi – 3G

3G on yleinen lyhenne kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologioille. 3G tekniikkaa käytetään mobiilitelevisioissa, videopuheluissa, kaukosäätöisissä mobiilipalveluissa, GPS paikannuspalveluissa sekä musiikin kuunteluun.

Verkossa ollessaan puhelin käyttää suurinta mahdollista tiedonsiirtotapaa, jonka tukiasemat sallivat. Kun dataa ei siirretä, niin laite tiputetaan hitaammalle siirtotiemennelmälle, joka sallii suuremman verkon käytön muille päätelaitteille.

#### 3.1 Määritelmät

3G verkon tulee tukea ainakin:

1) suuria bittinopeuksia

- 144kbps laajalla ulkopeittoalueella (kulkuneuvot)
- 384kbps laajalla ulkopeittoalueella (jalankulkijat)
- 2Mbps tai enemmän sisäverkkoratkaisulla

2) sallia liikkuvuus eri operaattoreiden verkkojen ja eri maiden välillä.

3) mahdollistaa käyttö- ja laskutustietojen vaihtaminen eri operaattoreiden välillä.

4) päätelaitteiden maantieteellisen sijainnin määrittelyä ja tukea multimedia palveluita

- kiinteänopeuksisia ja vaihtelevannopeuksisia palveluita
- epäsymmetristä lähetystä ja vastaanottoa
- Mahdollistavat videopuhelut

#### 3.2 3G Matkapuhelin- ja datastandardeja

3G sukupolven yleisimmät standardit ovat UMTS, EDGE, FOMA, GPRS, CDMA2000 ja HSPA.

UMTS on Euroopan yleisin käytössä oleva 3G standardi. EDGE on alkujaan kehitetty Amerikassa, josta se on levinnyt maailmanlaajuisesti, EDGE edustaa on 2.5 sukupolvea. FOMA on Japanin NTT DoCoMo:n kehittämä W-CDMA-pohjainen järjestelmä, joka luokitellaan ensimmäiseksi 3G- verkoksi. CDMA2000 on Amerikassa suosittu standardi, joka kilpailee EDGE:n kanssa. CDMA2000 on myös käytössä Aasiassa ja Afrikassa.

### 3.2.1 GPRS

GPRS on mobiili pakettidatapalvelu 2G ja 3G GSM matkapuhelinverkossa.

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) standardisoi alun perin GPRS verkkostandardin vastineeksi aikaisemmille CDPD ja i-mode pakettikytkentäisille data standardeille. GPRS on nykyään 3GPP:n ylläpitämä.

GPRS tarjoaa 56- 114 kbps datanopeuden. 2G tekniikka yhdistettynä GPRS tekniikkaan ilmoitetaan 2.5G tekniikkana. Jos SMS viestejä lähetetään GPRS tekniikan avulla, viestien lähetys nopeus nousee noin 30 SMS viestiin minuutissa. GSM tekniikassa SMS viestien lähetys nopeus on tavallisesti noin kuudesta kymmeneen viestiin minuutissa.

### 3.2.2 W-CDMA

W-CDMA käyttää UMTS- verkossa käytettävää radiorajapintaa. Se määrittelee kuinka mobiililaitteet kommunikoivat tukiasemien kanssa ja miten signaalia moduloidaan.

W-CDMA verkko avattiin ensimmäisen kerran vuonna 2001 Japanissa, joka on japanilaisen NTT DoCoMo:n kehittämä. Suomessa TeliaSonera avasi W-CDMA palvelunsa lokakuussa 2004.

W-CDMA verkko kykenee jopa 21 Mbps tiedonsiirtonopeuteen, mutta yleisesti tiedonsiirtonopeus on 10Mbps. Tässä verkossa on hyvä taajuuksien uudelleen käyttö, koska kaikki saman operaattorin solut käyttävät samoja taajuuksia.

W-CDMA tekniikka tukee kahta perustekniikkaa FDD ja TDD:tä. FDD-tekniikka perustuu, sekä myötä- että paluusuunnalle on annettu omat 5Mhz taajuusalueet. Paluusuunnalle on varattu taajuudet 1920–1980 MHz ja 2110–2170 MHz myötäsuunnalle. Tällä saavutetaan 250 puheyhteyttä. TDD-tekniikassa käytetään samaa taajuusaluetta tiedonsiirrossa molempiin suuntiin. Siirrossa toimitetaan vuorosuuntaisesti samalla taajuusalueella. TDD-tekniikalle on varattu 1900–1920 MHz sekä 2020–2025 MHz taajuusalueet, tämä sallii 120 yhteyttä, mutta se käyttää vain puolet kaistanleveydestä.

### 3.2.3 UMTS

UMTS- standardi on alusta asti kehitetty datansiirtoa ajatellen. UMTS- standardissa perustana käytetään W-CDMA- standardia. Verkon tavoitteena on saada äänenlaatu ja palvelut samalle tasolle kuin lankapuhelinverkossa. Tuki sekä piiri- että pakettikytkentäiselle datansiirrolle ja radiokaistan mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön. UMTS-verkon radio-osan nimi on UTRAN. Tästä verkoista on kehitetty kaksi erilaista versiota UMTS-FDD, joka käyttää taajuusjakokanavointia ja UMTS-TDD, joka käyttää aikajakokanavointia.

UMTS- verkot otettiin käyttöön 2005 vuoden alussa. Monet maat esimerkiksi Saksa myivät UMTS- toimilupiansa. Vastaavasti monet lupia ostaneet operaattorit olivat vaarassa ajautua konkurssiin, koska tekniikka ei menestynytkään niin hyvin kuin oli arvioitu. Kun UMTS- verkko otettiin käyttöön ensimmäisen kerran Suomessa 2004, tätä tukevia puhelinmalleja ei ollut tarjolla kuin muutama. Elisa avasi maailman ensimmäisen kaupallisen 900 MHz taajuudella toimivan 3G-verkon Suomessa vuoden 2007 marraskuussa. Yhdysvalloissa UMTS- verkko käyttää 1900 MHz ja 850 MHz taajuuskaistoja.

UMTS:n perusidea on käyttää ReI99- tekniikkaa, joka tarjoaa 384 kbps latausnopeuden; tiedonsiirto tavoite asetettiin 2 Mbps pakettikytkentäiselle laitteelle. Jalankulkijoille tulisi vähintään 348 kbps nopeus ja liikkuvaan kulkuneuvoon 144 kbps.

Euroopassa ja Japanissa on käytössä 2100 MHz alue, joka on tuetuin nykyisissä päätelaitteissa. Lisäksi joissain maissa kuten Suomessa on otettu käyttöön myös 900 MHz alue, mikä mahdollistaa verkon laajentamisen edullisesti. Pienempi taajuus kasvattaa signaalin kantamaa, joka mahdollistaa tukiasemien harvan sijainnin.

### 3.2.4 FOMA

FOMA-verkkosaandardi on Japanin NTT DoCoMon kehittämä W-CDMA ja IMT-2000x pohjainen 3G-standardi. Se on kehitetty kilpailemaan UMTS-verkon kanssa. Tavoitteeksi asetettiin nostaa datansiirtonopeuksia ja taata stabiilimpia palveluita. Iskulauseena oli hankkia paras asiakastyytyväisyys sekä verkon laatu. FOMA on myös ensimmäisiä verkkoyhteyksiä, joka tukee useampia päätelaitteita samassa sopimuksessa. FOMA- verkkoa käytetään myös TV- viihdepalveluissa.

FOMA lanseerattiin vuoden 2001 maailman ensimmäisenä kaupallisena 3G- palveluna. Ensimmäiset FOMA- verkot otettiin käyttöön Japanin Tokiossa, Yokohammassa sekä Kawasakissa vuoden 2001 lokakuussa. FOMA ei ollut aluksi yhteensopiva UMTS- verkon kanssa. Vuoden 2004 aikana NTT DoCoMo suoritti verkon päivitystyöt, jonka ansiosta FOMA- verkko saatiin yhteensopivaksi UMTS- verkon kanssa.

FOMA- verkon tiedonsiirtonopeudet olivat alkuvaiheessa yleisesti 384 Kbps uplink ja 64 Kbps downlink.

FOMA- verkko käyttää pääsääntöisesti 2100 MHz ja 850 MHz verkkoa, mutta esimerkiksi Tokiossa, Nagoyassa ja Osakassa on kehitetty 1700 MHz verkko, koska näillä alueilla on suuret käyttäjämäärät sekä puutteita 2100 MHz verkossa.

### **3.2.5 UMTS-TDD**

UMTS-TDD on 3GPP standardoitu versio UMTS verkosta, joka käyttää UTRA-TDD-standardia. UTRA-TDD HCR on yksi langattomista käytetyistä tiedonsiirtotavoista, jota UMTS-TDD käyttää. Tämä tiedonsiirtotapa käyttää osioita 5 MHz spektrissä, jokainen osio on jaettu 10ms kehyksiin, joka sisältää 15 aikaväliä (1500/s). UTRA-TDD LCR on toinen langaton siirtotapa, joka perustuu TD-SCDMA- standardiin. Se käyttää osiota 1.6 MHz spektrissä ja on standardoitu UMTS- tekniikassa.

UMTS-TDD on kehitetty julkiseen ja/tai yksityisiin tietoverkkoihin ainakin 19 maassa esimerkiksi Tšekissä, Ranskassa, Japanissa, Englannissa sekä Yhdysvalloissa. Kehitys Yhdysvalloissa on ollut rajattua; UMTS-TDD on pääsääntöisesti siellä valittu käytettäväksi turvallisuus ja hätätapaus tilanteisiin. UMTS-TDD standardia tullaan ehkä käyttämään osana WiMAX- standardia.

UMTS-TDD verkon tiedonsiirtonopeus on noin 16 Mbps.

Euroopassa on taajuusalueilta, jolla on määritelty käytettäväksi UMTS-TDD- standardia tai ainakin samantyyppistä standardia. Nämä taajuusalueet ovat 1900–1920 MHz ja 2010–2025 MHz välillä. Muutamissa maissa UMTS-TDD on käytössä taajuusalueilla

2500–2690 MHz. Britanniassa on käytössä kyseinen standardi noin 3.5 GHz spektrissä. Tšekissä on käytetty 872 MHz taajuusalueita.

### 3.2.6 EV-DO/TIA-856

EV-DO on telekommunikaatio standardi langattomalle datalle radiosignaalien välityksellä. Se käyttää monia multipleksaus menetelmiä muun muassa CDMA ja aikataason multipleksausta maksimoidakseen henkilökohtaisen sekä kokonais systeemin käytön. EV-DO on myös käytössä Globalstar satelliittipuhelinverkossa.

EV-DO on standardoitu 3GPP2:n kautta osaksi CDMA2000- perheen standardia ja on käytössä monilla palveluntarjoajilla ympärimaailmaa, etenkin niillä jotka on ennen toimineet CDMA tietoverkoissa. EV-DO:sta on monia eri julkaisuja joiden tiedonsiirtonopeudet vaihtelevat suuresti. EV-DO:n kehitti Qualcomm vuonna 1999 IMT-2000- standardeja noudattaen. Alun perin standardi nimettiin HDR(High Data Rate) mutta myöhemmin sen nimeksi tuli 1x EV-DO, kun ITU vahvisti standardin. EV-DO tarkoitti aluksi Evolved- Data Only, koska standardi nimen mukaan välitti dataa pelkästään. Myöhemmin lyhenteen merkitys muuttui Evolved- Data Optimized, joka kuvaa paremmin standardia.

EV-DO:sta on monia eri julkaisuja joiden tiedonsiirtonopeudet vaihtelevat suuresti. Taulukossa 2 on esitetty eri nopeuksia.

- DRC arvot 1-12 kuuluvat EV-DO TIA-856 Rel. 0:llaan.
- DRC arvot 13 ja 14 kuuluvat EV-DO TIA-856 Rev. A
- DRC arvo 15 kuuluu EV-DO TIA-856 Rev. B

TIA-856 Rev. B. käyttää enintään kolmea kantaaltoa ja yhden kantaallon keskimääräinen nopeus on 4,9 Mbps, joten teoreettinen huippunopeus on 14,7 Mbps.

DRC	kbps
1	38,4
2	76,8
3	153,6
4	307,2
5	307,2
6	614,4
7	614,4
8	921,6
9	1228,8
10	1228,8
11	1843,2
12	2457,6
13	1536
14	3072
15	4900*

Kuvio 3: EV-DO nopeudet

### 3.2.7 TD-SCDMA

TD-SCDMA on ilmatie-etenemismalli, jota käytetään Kiinan UMTS mobiiliteknologia verkossa, joka on myös vaihtoehtoinen mallille W-CDMA. Yhdessä TD-CDMA ja TD-SCDMA tunnetaan myös nimellä UMTS-TDD tai IMT 2000 Time-Division (IMT-TD). TD-SCDMA nimitys on hieman harhaan johtava, sillä se viittaa, että kyseinen tapa kattaa vain kanava päästöt samalla tavoin kuin CDMA, vaikka se on oikeastaan yleinen nimitys koko ilmatie-etenemis- tavalle.

Välttääkseen riippuvuutta läntiseen teknologiaan ja 3G patenttien maksamisesta, Kiinan Tietoliikennetekniikan akatemia, Datang Telecom ja Siemens AG kehittivät TD-SCDMA ilmatie-etenemismallin. Tämän uskotaan soveltuvan paremmin tiheästi asutuille alueille ja myöhemmin sitä tullaan soveltamaan muuallakin. TD-SCDMA:n uskotaan vaihtuvan uudempaan TD-LTE teknologiaan seuraavan viiden vuoden sisällä.

TD-SCDMA pääsee jopa 2 Mbps nopeuteen, mistä on tarkemmin esitetty tietoja taulukossa 2.

Data Tyyppi	Nopeus
Ääni	8kbps
Paketti	9,6kbps
	64kbps
	144kbps
	384kbps
	2048kbps

Kuvio 4: TD-SDMA nopeudet

TD-SDMA toimii kiinassa taajuus välillä 2010- 2025 MHz.

### 3.2.8 GAN/UMA

GAN eli Generic Access Network on telekommunikaatitapa, joka levittää mobiiliään, datan ja IMS/SIP palveluita IP verkkojen yli. UMA on kansankäyttämä nimitys mobiilisignaalien jatkamisesta ulkoiseen IP yhteyteen niiden ydinverkkoon. Yleisin käyttötapa tälle on kaksitaajuinen laite, jolla käyttäjät voivat saumattomasti liikkua WLAN ja WAN yhteyksien välillä käyttäen GSM/Wi-Fi kaksitaajuus matkapuhelinta.

Ryhmä operaattoreita ja myyntiliikkeitä kehittivät UMA:n. Määritelmät teknologiasta julkaistiin syyskuussa 2004. Yhtiöt lahjoittivat määritelmät 3GPP:lle osaksi työkalua ”Generic Access to A/Gb interfaces”. Huhtikuussa 2005 3GPP hyväksyi määritelmät ”Generic Access to A/Gb interfaces” ja muutti sen nimeksi GAN. Tämä termi on vielä vähän tuntemattomampi 3GPP piirin ulkopuolella kuin UMA, joka on tunnetumpi markkinoinnissa.

### 3.2.9 HSPA

HSPA on yhdistelmä kahdesta matkapuhelin protokollasta, HSDPA ja HSUPA. HSPA jatkaa ja parantaa käyttökapasiteettia edeltävästä 3G matkapuhelinverkosta hyödyntäen WCDMA protokollaa.

Ensimmäinen HSPA määritelmä nosti datan huippunopeuden 14 Mbps downlinkin ja 5,76 Mbps uplink. Määritelmä vähensi samalla viivettä ja tarjosi viisi kertaa enemmän verkkokapasiteettia downlink ja kaksi kertaa enemmän uplink verrattuna alkuperäiseen WCDMA protokollaan. Vuonna 2007 avattu verkko tarjosi tiedonsiirtonopeudeksi maa-

ilmalla 7,2 Mbps ja Suomessa 3.6 Mbps. Vuonna 2010 suomessa saatiin teoriassa 7,2 Mbps tiedonsiirtonopeus.

### **3.2.10 HSDPA**

HSDPA on 3G matkapuhelin protokolla HSPA perheessä, joka myös mahdollistaa UMTS verkkoon suuremman datan siirtonopeuden ja kapasiteetin. Ensimmäinen vaihe HSDPA historiassa määriteltiin 3GPP release 5. Ensimmäisessä vaiheessa esitettiin, että uuden perusfunktion tavoitteena oli päästä 14,0 Mbps tiedonsiirtonopeuteen.

Ensimmäisenä Suomessa HSDPA-tekniikan otti käyttöön Elisa Oyj vuonna 2005. Vuoden 2007 alussa DNA Finland ja TeliaSonera Finland avasivat omat HSDPA- verkkonsa.

Pääsääntöisesti tiedonsiirtonopeus on 1,8 Mbps, 3,6 Mbps, 7,2 Mbps tai 14,4 Mbps. Tavallisesti tiedonsiirtonopeus jää huomattavasti alle näiden lukujen, sillä tiedonsiirtonopeuteen vaikuttavat myös yhteyden laatu ja päälaitteet.

### **3.2.11 HSUPA**

HSUPA on 3G matkapuhelin protokolla HSPA perheessä, joka nopeuttaa uplink nopeuden jopa 5,76 Mbps. Nimityksen HSUPA on luonut Nokia. Virallinen nimi 3GPP:lä HSUPA:lle on Enhanced Uplink (EUL). HSUPA tekniikan tarkoituksena on parantaa uplinkin suoritus kykyä määritetyillä lähetyskanavilla kasvattamalla verkon kapasiteettia ja vähentämällä viivettä. Pääsääntöisesti tätä tekniikkaa käytetään langattomissa modeemeissa.

Määritelmät HSUPA:sta julkistettiin 3GPP - UMTS release 6 standardissa. 3GPP toimii nykyään enemmän LTE teknologian parissa, jolla nähdään olevan parempi tulevaisuus.

Taulukossa 4 on esitetty HSUPA tekniikan eri kategoriat ja tiedonsiirtonopeudet.



HSUPA Kategoria	Suurin uplink tiedonsiirtonopeus
Category 1	0,74 Mbps
Category 2	1,46 Mbps
Category 3	1,46 Mbps
Category 4	2,93 Mbps
Category 5	2,00 Mbps
Category 6	5,76 Mbps
Category 7 (3GPP release 7)	11,5 Mbps

Kuvio 5: HSUPA tiedonsiirtonopeus

HSUPA on käytössä pääsääntöisesti 3G -taajuusalueella 2100MHz ja 1900 MHz, myös 900 MHz on liitetty tukemaan sitä.

### 3.2.12 HSPA+

HSPA+ tunnetaan myös nimellä Evolved HSPA, joka on tekninen standardi matkapuhelin internet yhteyksille. HSPA+ nostaa yleisesti käytössä olevan W-CDMA verkon tiedonsiirtonopeutta.

HSPA+:n määritelmät julkaistiin 3GPP release 7:ssä ja niitä laajennettiin myöhemmissä julkaisuissa. Vuonna 2008 australialainen Telstra Next G otti käyttöön joitakin HSPA+:n ominaisuuksia. Vuoden 2008 lokakuussa ensimmäiset HSPA+ teknologiaa käyttävät laitteet julkaistiin ja ne pääsivät 21 Mbps nopeuteen Telstra:n Next G – verkossa, joka oli kolme kertaa nopeampi verrattuna silloiseen HSPA verkkoon.

HSPA+ tarjoaa parhaimmillaan 168 Mbps downlink ja 22 Mbps tiedonsiirtonopeuden. Teknisesti tämä saavutetaan käyttämällä MIMO – tekniikkaa ja korkeampaa modulointitasoa tai käyttäen DC-HSDPA tekniikkaa.

### 3.2.13 CDMA2000

CDMA2000 tunnetaan myös nimellä IMT-MC. CDMA2000 on joukko 3G matkapuhelintekniikan standardeja, jotka käyttävät CDMA kanavaa, siirtävät ääntä tai dataa mobiililaitteen ja tukiaseman välillä.

Qualcomm on kehittänyt CDMA2000 tekniikan, jota käytetään pääasiassa Japanissa, Pohjois-Amerikassa, Pohjois-Koreassa, Kiinassa ja Hong Kongissa. Vuoden 2002 huhtikuussa KDDI ja Okinawa Cellular Telephone avasivat ensimmäisen CDMA2000 1x verkon Japanissa. CDMA2000 tekniikkaa on kehitetty jo pitkään ja parinvuoden välein siihen on julkaistu uudistuksia. CDMA2000 EV-DO Advanced:n seuraajaksi oli kaavailtu CDMA2000 EV-DO Revision C, joka on uusi UMB 4G tekniikka, kunnes kehittäjä ilmoitti luopuvansa UMB:n kehittämisestä ja päätti suunnata panostuksen LTE-teknologiaan.

Vuonna 2000 julkaistu CDMA2000 1x tekniikka pystyi 153 kbps uplink ja downlink tiedonsiirto nopeuteen. Vuonna 2002 päivitettiin tekniikkaa ja julkaistiin CDMA2000 1x EV-DO Release 0, joka kykeni 2,4 Mbps downlink ja 153,6 kbps tiedonsiirtonopeuteen, mutta todellisuudessa tiedonsiirtonopeus oli noin kolmasosa. Vuoden 2006 seuraavassa versiossa CDMA2000 1x EV-DO Revision A pääsi 3,1 Mbps downlink ja 1,8 Mbps uplink tiedonsiirtonopeuteen. Tekniikkaa kehitettiin edelleen ja seuraava julkaisu CDMA2000 1x EV-DO Revision B kykeni 9,3 Mbps downlink ja 5,4 Mbps. Viimeisin käytössä oleva CDMA2000 EV-DO 1x Advanced yhdistettynä CDMA2000 EV-DO 1x Revision B:hen pääsee 32 Mbps downlink ja 12,4 Mbps uplink nopeuteen.

Pääsääntöisesti CDMA2000 toimii 800 MHz taajuudessa, lisäksi 1800 MHz taajuusalue on käytössä tässä tekniikassa.

## **4 Neljäs sukupolvi – 4G**

Kasvava langattomantiedonsiirron määrä 2000 luvulla, on tuonut paineen kehittää nopeampia tiedonsiirtotapoja ja uusia teknologioita. Älykkäät päätelaitteet kuten Applen iPhone, Nokia N- sarja ja lukuisat internet tabletit vaativat saumattomaan internetin käytön ja ovat entisestään lisänneet palvelujen tarvetta ja luotettavuutta.

### **4.1 Määritelmät**

ITU on asettanut säännökset neljännen sukupolven langattomille tiedonsiirtoverkoille. ITU:n asettamien säädösten IMT-Advanced mukaan 4G verkon tulee pystyä vähintään 1 Gbps hitaasti liikuttaessa ja 100 Mbps nopeasti liikuttaessa.

Käytännössä 4G verkkojen tiedonsiirtonopeudet ovat huomattavasti alhaisempia, arviot ovat 10–100 Mbps downlink ja 5-20 Mbps uplink. NTT DoCoMo testiverkossa tiedonsiirtonopeus on ollut hetkellisesti 300 Mbps ja keskiarvoltaan 135 Mbps.

### **4.2 4G- Matkapuhelin- ja datastandardeja**

Neljännen sukupolven yleisimmät data standardit ovat LTE ja WiMAX, molemmista standardeista on kehitteillä seuraajat LTE Advanced ja WiMAX 2.

#### **4.2.1 UMB**

UMB oli tuotenimike 3GPP2 projektille, jonka oli tarkoitus olla CDMA2000 matkapuhelin standardi seuraavaan sukupolven vaatimuksiin.

UMB 4G tekniikkaa kehitettiin vuoteen 2008, kunnes sen kehittäjä ilmoitti luopuvansa UMB tekniikan kehittämisestä ja päätti suunnata panostuksen LTE- teknologiaan.

UMB tekniikalla uskottiin päästävän 275 Mbps downlink ja 75 Mbps tiedonsiirtonopeuteen.

#### **4.2.2 WiMAX**

WiMAX on langaton tietoliikenne standardi, joka on suunniteltu tarjoamaan 30- 40 Mbps tiedonsiirtonopeuden, vuoden 2011 päivityksen johdosta se voi tarjota jopa 1 Gbps kiinteisiin laitteisiin. WiMAX:n on tarkoitus syrjäyttää tai ainakin olla vaihtoehto DSL-yhteyksille.

Vuonna 2001 WiMAX Forum perustettiin tavoitteena parantaa 802.16 standardia. 2003 vuonna IEEE tuotti 802.16a standardin, joka lähetti dataa näköyhteydettömällä radiokanavalla ympäriinsä säteilevällä antennilla. Myöhemmin vuonna 2004 standardi 802.16-2004 julkaistiin. Tämä standardi paransi IEEE 802.16a, 802.16b ja 802.16c standardeja. Vuonna 2005 julkaistiin ensimmäinen mobiili WiMAX systeemi: 802.16e.

WiMAX:n tiedonsiirtonopeus on 40 Mbps downlink ja 17 Mbps uplink.

WiMAX:n käyttämä taajuusalue on 2 – 10 GHz sekä 10 – 66 GHz.

### **4.2.3 WiMAX 2**

WiMAX 2 tekniikka tukee vanhempaa WiMAX – tekniikkaa. WiMAX 2:n tulee ylittää valokuidun tarjoama nopeus, vähentää viivettä ja tarjota internetyhteys jopa 350 km/h nopeudessa sekä parantaa verkkokapasiteettia.

WiMAX 2 tekniikkaa on kehitetty vuodesta 2008 ja se otettiin käyttöön vuonna 2012. Ensimmäiset WiMAX 2 laitteet tulevat myyntiin vuoden sisällä käyttöönotosta.

WiMAX 2 standardin (802.16m) ennustetaan pääsevän 120 Mbps downlink ja 60 Mbps uplink nopeuteen käyttämällä 4x2 MIMO antennia yhdellä 20 MHz TDD kanavalla. Samsung on esittänyt WiMAX systeemin kykenevän 330 Mbps tiedonsiirtonopeuteen lyhyillä kantamilla.

### **4.2.4 LTE**

LTE teknologiaa markkinoidaan yleisesti 4G teknologiana, jolla on korkea langaton datayhteys matkapuhelimiin ja muihin datapäätteisiin. LTE teknologia perustuu EDGE ja UMTS/HSPA teknologiaan.

TeliaSonera avasi Oslossa ja Tukholmassa maailman ensimmäiset julkisessa käytössä olevat LTE palvelut vuoden 2009 joulukuussa. Vuonna 2010 perässä seurasi Amerikkalainen Verizon Wireless, joka oli tukenut tätä ennen CDMA tekniikkaa. LTE teknologiaan on myös siirtynyt Japanilainen KDDI. Suomessa ensimmäisen LTE-tekniikkaan perustuvan verkon avasi Sonera vuonna 2010 Turkuun. Saman vuoden joulukuussa verkko avattiin julkiseen käyttöön Turun ja Oulun keskustassa ja Helsingissä Vallilan kaupunginosassa. LTE teknologia tulee olemaan ensimmäinen maailmanlaajuisesti käytössä oleva 4G matkapuhelinstandardi.

LTE määrittymiset tarjoavat tiedonsiirtonopeuden downlink 300 Mbps, uplink 75 Mbps tason ja viiveen 5ms tai vähemmän. IP tason arkkitehtuuri on nimeltään Evolved Packet Core (EPC) ja se on suunniteltu korvaavan GPRS perus verkon, jolla tarjotaan saumaton käyttöä ja pakettidatan siirto mastojen välillä. Kuitenkaan tämä ei täytä 4G vaatimuksia, joten LTE teknologialla päästään 3G - 4G välille.

LTE teknologian taajuus alue on 1,4 MHz – 20 MHz ja tukee FDD- ja TDD- multiplek-sausta.

#### **4.2.5 LTE-Advanced**

LTE-Advanced on matkapuhelin standardi, joka on kehitetty varta vasten täyttämään ITU-T asettamat rajat 4G standardille. LTE-Advanced on uusin päivitys tätä edeltäneeseen LTE standardiin. LTE-Advanced standardin hyväksyi 3GPP vuoden 2011 maaliskuussa osana suurta LTE päivitystä.

LTE-Advanced on kehitetty täysin LTE – standardista. LTE-Advanced tulee tukemaan aikaisempaa LTE standardia ja LTE datapäätteet tukee LTE-Advanced verkkoja sekä LTE-Advanced datapäätteet tulee tukemaan LTE verkkoja.

LTE-Advanced tarjoaa jopa 3,3 Gbps downlink sektoria kohtaan täydellisessä ympäristössä. LTE-Advanced voi käyttää, WiMAX 2 tavoin, jopa 8x8 MIMO ja 128 QAM tekniikkaa.

## **5 Viides sukupolvi – 5G**

Parhaimmillaan 4G tietoliikennejärjestelmät tulevat käyttöön, mutta ajatukset ja suunnitelmat suuntautuvat jo tulevaisuuden 5G teknologiaan ja sen tarjoamiin palveluihin. Vaikka käyttöönottoon on vielä useita vuosia, 5G tekniikka kehitetään ja tutkitaan. Uusi 5G sukupolvi pitää saada hiottua täydelliseksi, nopeaksi ja luotettavaksi.

### **5.1 5G tilanne**

Useat yritykset tutkivat parhaillaan tekniikoita, joita voitaisiin käyttää osana tulevaa järjestelmää. Tämän lisäksi standardointijärjestöt seuraavat mielenkiinnolla kehitystä, etenkin 3GPP, mutta se ei osallistu aktiivisena osana kehitykseen vielä.

Monia tekniikoita, joita voidaan käyttää 5G teknologian osana, tullaan jo kokeilemaan 4G teknologioissa. Tällaisesta esimerkkinä on GPRS, jota kokeiltiin jo 2G sukupolvessa ja se on osana 3G teknologiaa. 5G tekniikkaa kehitetään parantamaan aikaisempien teknologioiden heikkouksia, joita ovat esimerkiksi puutteellinen kattavuus, katkenneet puhelut ja heikko suorituskyky solujen reunoilla.

Viidennen sukupolven arvioidaan olevan valmis vuonna 2020 ja se pyritään ottamaan käyttöön hyvin nopeasti sen jälkeen.

### **5.2 Teknologia ja käsitteet**

Nyt on jo monia käsitteitä, joita tutkitaan ja kehitetään osaksi tulevaa viidettä sukupolvea varten.

#### **5.2.1 Joka paikan tietotekniikka**

Joka paikan tietotekniikka tarkoittaa tapaa, jossa käyttäjä voi liittää samanaikaisesti useita langattomia laitteita ja siirtyä saumattomasti niiden välillä.

#### **5.2.2 Solujen yhteistyö**

'Solujen yhteistyö' -tekniikalla saadaan suuremmat datansiirtonopeudet ja ne ovat saatavilla laajemmalla alueella. Tällä hetkellä datansiirtonopeudet tippuvat siirryttäessä solun reunaan kohti, jossa häiriöt ovat korkeammat ja signaalitasot alhaisemmat.

### **5.2.3 Kognitiivinen radiotekniikka**

Jos kognitiivista radiotekniikkaa tultaisiin käyttämään 5G tekniikassa, se antaisi käyttäjän päätelaitteen tarkastella radiokarttaa, jossa se sijaitsee ja valita optimaalisen radioliityntäverkon, päättämällä itse modulointimenetelmän ja muut parametrit saadakseen parhaan mahdollisen suorituskyvyn.

### **5.2.4 Älykkäät antennit**

Älykkäät antennit voivat muuttaa säteen suuntaa, joka mahdollistaa suoraviivaisemman viestinnän ja vähentää rajahäiriöitä, sekä lisää solujen kapasiteettia.

## 6 VERTAILUA

Erilaisten 3G ja 4G tekniikoiden vertailu on hankalaa, koska suuri osa tekniikoista on kehitetty parantamaan edellisen ominaisuuksia ja uudemmissa tekniikoissa käytetään hyväksi aikaisempien tekniikoiden hyviä puolia. Taulukkoon 5 on listattu muutama 3G standardi ja niiden 4G päivitys.

ITU-2000 Standardi	TDMA Single-Carrier (IMT-SC)	CDMA Multi-Carrier (IMT-MC)	CDMA Direct Spread (IMT-DS)	CDMA TDD (IMT-TC)	FOMA/TDMA (IMT-FT)	IP-DFDMA
Yleinen nimitys	EDGE (UWC-136)	CDMA 2000	W-CDMA & UMTS	TD-CDMA & UMTS	DECT	
Datan siirtotapa	EDGE Evolution	EV-DO	HSPA	HSPA	Ei ole	WiMAX
4G Päivitys	Ei jatku	UMB	LTE	LTE	Ei ole	WiMAX
Multipleksaus menetelmä	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD
Kanava	TDMA	CDMA	CDMA	CDMA	FOMA/TDMA	DFDMA
Selvitys	Vallankumouksellinen Kehitys GSM/GPRS	Vallankumouksellinen päivitys CDMA-ONE:sta (IS-95)	Vallankumouksellinen päivitys aikaisempiin GSM perheisiin	Vallankumouksellinen päivitys aikaisempiin GSM perheisiin	Lyhyen kantaman perus langaton puhelin	
Levinneisyys	Maailmanlaajuinen lukuunottamatta Japania	Amerikka, Aasia	Maailmanlaajuinen	Eurooppa (TD-CDMA & UMTS) Kiina (TD-SCDMA & UMTS)	Eurooppa ja Yhdysvallat	Maailmanlaajuinen

Kuvio 6: ITU-2000 Standardit

Tiedonsiirtonopeuksien nostaminen tapahtuu enimmäkseen ottamalla käyttöön enemmän antennia ja parempi modulaatio.

### 6.1 3G

Taulukkoon 6 on merkitty 3G tekniikka, kaistanleveys, huippunopeudet DL ja UL sekä modulaatiot DL ja UL.

Tekniikka	Kaistanleveys [MHz]	Huippunopeus DL [Mbps]	Huippunopeus UL [Mbps]	Modulaatio DL	Modulaatio UL
GPRS	0,2	0,127	0,127	GMSK	GMSK
W-CDMA	5	21	10	16 QAM	BPSK
UMTS	5	0,384	0,384	PSK	PSK
FOMA	2	14	5,7	16 QAM	8 PSK
UMTS-TDD	5	16	16	16 QAM	16 QAM
EV-DO rev A	1,25	3,1	1,8	16 QAM	8 PSK
EV-DO rev B	1,25	14,7*	5,4*	64 QAM	8 PSK
TD-SCDMA	1,6	2	2	16 QAM	8 PSK
HSPA*	5	14,4	5,76	16 QAM	BPSK
HSPA+	5	43,2**	11,4**	16 QAM	16 QAM
CDMA2000	1,25	32	12,4	16 QAM	16 QAM

Kuvio 7: 3G

Taulukossa 6 olevista huippunopeuksista EV-DO rev. B ja HSPA + pitää ainakin erottaa muista, koska EV-DO rev. B tekniikassa käytetään useampaa kantaaltoa, kuin myös



HSPA+ -tekniikassa MIMO antennilla. EV-DO rev. B käyttää kolmea kantaaltoa enemmän mitä EV-DO rev. A käyttää, jotka nostavat sen datansiirtonopeuden kolmenkertaiseksi.

Kolmannen sukupolven aikana käyttöön otetulla MIMO tekniikalla voitiin nostaa tiedonsiirtonopeutta jo huomattavasti. Teknisesti suurin edistysaskel oli kuitenkin parempi modulaatio, esimerkiksi BPSK – tekniikka pystyy ilmaisemaan vain yhden symbolin samassa ajassa kuin 16 QAM ilmaisee neljä.

## 6.2 4G

4G tekniikoissa näyttää olevan sama kehitys trendi kuin 3G tekniikoissa. Aina uusimpaan versioon lisätään MIMO tekniikalla enemmän antennia ja nostetaan modulaatiota.

Tekniikka	Kaistanleveys [MHz]	Huippunopeus	Huippunopeus	Modulaatio	Modulaatio
		DL [Mbps]	UL [Mbps]	DL	UL
UMB	1,25	275	75	64 QAM	64 QAM
WiMAX	10	40*	10*	64 QAM 5/6	64 QAM 3/4
WiMAX 2	20	165*	55*	64 QAM	64 QAM
LTE	20	302**	302**	64 QAM 3/4	64 QAM 3/4
LTE-Advanced	60	1000***	500***	128 QAM	128 QAM

Kuvio 8: 4G

Taulukkoon 7 on listattu 4G tekniikoita, kaistanleveys sekä nopeuksia. Yksi tähti tarkoittaa 2x2 MIMO tekniikkaa, kaksi tähteä 4x4 MIMO tekniikkaa ja kolme tähteä 8x8 MIMO tekniikkaa. 4G modulaatiossa on murtoluku merkinnät, jotka ilmaisevat tarkistus tekniikkaa, 3/4 tarkoittaa että kokonais datansiirrossa kolme osaa on dataa ja yksi osa on tarkistusbittejä.

## 6.3 5G

5G tekniikkaa ei vielä voi luetettavasti vertailla 3 G ja 4 G tekniikoiden kanssa. Solujen yhdistyminen ja parempi modulaatio voi nostaa datansiirtonopeuden huomattavasti korkeammaksi. Tähän yhdistettynä älykkäät antennit, kohdistettuna päätelaitteeseen vähentävät häiriötä ja nostaa signaalia.

## 7 POHDINTA

Kun vertaa toisen - ja kolmannen sukupolven teknologian välistä kehitystä, niin datansiirronopeuden kasvaminen ja viiveen pieneneminen datansiirrossa oli merkittävä edistysaskel. Kolmannen ja neljännen sukupolven hitaimpien datansiirtonopeuksia välinen ero on jo nousut 200 – kertaiseksi. Mutta toisaalta 3G tekniikan nopeimman ja 4G tekniikan hitaimman välillä ei ole niin huomattavaa eroa datansiirron osalta.

Teknologian kehitys on suuntautunut palvelujen laadun parantamiseen ja datatekniikan nopeuttamiseen. Pääasiassa seuraavat neljä tekijää vaikuttavat tiedonsiirtonopeuteen:

1. Mitä leveämpi taajuuskaista – sitä enemmän radio kehyksiä.
2. Mitä useampi bitti pystytään modulointi symbolin aikana esittämään sitä pienemmällä 'vaivalla' pystytään lähettämään sama tieto.
3. MIMO – tekniikan tuoma mahdollisuus käyttää useampaa kaistaa samanaikaisesti
4. Solun reunalla on huomattavasti suurempi häiriö verrattuna signaaliin. Toivottavasti 5G tekniikkaan suunnitteilla oleva 'solujen yhteistyö' voisi muuttaa solussa sijoittumisen vähemmän tärkeäksi tekijäksi.

Kaapeliyhteyksien huoltokustannukset ovat huomattavasti korkeammat verrattuna langattomien keskusten huoltokustannuksiin. Tulevaisuudessa kaapeliyhteydet voivatkin jäädä historiaan. Tätä ajatusta tukee teleoperaattoreiden halu myydä nettitikkuja normaaleiden kaapeliyhteyksien tilalle. Uusissa modeemeissa jo nyt on tuki USB - modeemille ja uusissa kannettavissa tietokoneissa oleva 3G/HSPA+ -modeemi, joka toimii asettamalla pelkkä SIM – kortti modeemiin.

Kun teknologioiden kehitys on ollut tosi ripeää viime vuosikymmeninä, niin on vaikea arvioida tulevaisuuden tekniikoiden datansiirtonopeuksia tai tulevien sukupolvien tarjoamia palveluja. Epäilen, että jossain vaiheessa raja tulee vastaan ja kehitys hidastuu, niin kuin tapahtui tietokoneiden prosessorien osalta. Tulevaisuuden tekniikka ehkä kehitetään kuljettamaan dataa huippunopeudella monella eri tavalla.

## LÄHTEET

OKGuide – Wimax standardit [online] [viitattu 6.7.2012]

<http://livedoor.blogimg.jp/itlifehack/imgs/3/1/31412e3b.png>

Ask Jeeves Encyclopedia – QPSK [online] [luettu 8.10.2012]

<http://uk.ask.com/wiki/QPSK>

Ask Jeeves Encyclopedia – QPSK [online] [luettu 8.10.2012]

<http://uk.ask.com/wiki/QPSK>

Yahoo! Answers – LTE data rate calculation [online] [luettu 10.10.2012]

<http://uk.answers.yahoo.com/question/index?qid=20100503194006AALT>

Bc5

Wikipedia – 3G [online] [luettu 6.6.2012]

<http://fi.wikipedia.org/wiki/3g>

Wikipedia – EV-DO [online] [luettu 6.6.2012]

<http://en.wikipedia.org/wiki/EV-DO>

Wikipedia – HSUPA [online] [luettu 8.6.2012]

<http://en.wikipedia.org/wiki/HSUPA>