

Modulering i LTE nätverk

Robert Blomkvist
35662

Kandidatavhandling
ÅBO AKADEMI
Institutionen för datateknik

Åbo, 1 april 2015

Fakultet		Institution	
INFORMATIONSTEKNOLOGI		Institutionen för datateknik	
Författare			
Robert Blomkvist 35662			
Arbetets titel			
Modulering i LTE nätverk			
Läroämne			
Datateknik			
Arbetets art		Datum	Sidoantal
Kandidatavhandling		1 april 2015	12
Referat			
<p>För ca 36 år sedan då de första nätverken för första generationens trådlösa telefonteknologi, även känt som 1G nätverk, kom i Japan i användning så började kännedomen om globala trådlösa mobila nätverk sprida sig runtom jorden. Norden nådde dessa nätverk dock två år senare då Nordic Mobile Telephone (NMT) samtidigt lanserade 1G nätverk i Danmark, Finland, Norge och Sverige.</p> <p>Dessa 1G nätverk var analoga, vilket också skiljer 1G nätverken från de digitala nätverken vi använder i dag. I de analoga nätverk modulerade rösten under samtal till en högre frekvens, oftast 150 megahertz (MHz) och uppåt, vilket skiljer sig från de digitala mobila nätverken där rösten kodas om till digitala signaler innan de skickas. Efter 1G nätverken kom nätverken för andra generationens trådlösa telefonteknologi (2G) i användning, vilka ersatte alla 1G nätverk. Idag används främst 3G och 4G teknologierna. För att kunna skicka digital data över luftrum så måste dock signalen först moduleras om till radiovågor och sedan i den mottagande telefonen demoduleras tillbaka till data, vilket är aktuellt inom 2G, 3G, 4G och troligtvis för kommande mobila nätverk.</p> <p>Denna avhandling presenterar diverse moduleringsmetoder som används inom olika mobila nätverk och går sedan närmare in på quadrature amplitude modulation (QAM) och orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA) som är de främsta moduleringsmetoderna som används inom Long Term Evolution (LTE) nätverk.</p>			
Nyckelord			
Mobila nätverk, Long Term Evolution, Modulering, OFDMA			
Förvaringsställe			
Övriga uppgifter			

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Mobila nätverk	1
1.2	Modulering	3
1.3	Struktur	3
2	LTE	4
2.1	3GPP och IMT-Advanced	5
2.2	LTE-Advanced	5
3	Databehandling	8
3.1	Moduleringsmetoder	9
3.1.1	QAM	10
3.1.2	Multiplexing	10
3.1.3	OFDM	10
3.1.4	D/A converting	10
3.2	QAM	10
3.3	Multiplexing	10
3.4	OFDM	10
4	Modulering i LTE	10
4.1	LTE Layer 1	10
4.2	QAM i LTE	10
4.3	Multiplexing i LTE	10
4.4	OFDMA	10
5	Sammanfattning	10
	Referenser	11

1 Introduktion

1.1 Mobila nätverk

Under de senaste åren har det vittnats en enorm tillväxt inom den trådlösa industribranschen. Vid århundradets skift var över 75% av alla telefonabonemang för bärbara telefoner, vilket fick mobiloperatörerna att se vikten i både nätverkets verkningsgrad och dess design [10].

2G var det första digitala mobila nätverket som på togs i bruk. Nätverket som blev tillgängligt i början av 1990-talet introducerade alldeles nya tjänster så som Short Message Service (SMS) och låga dataöverföringshastigheter. CDMA2000 1xRTT och GSM är de största 2G teknologierna fastän CDMA2000 1xRTT ibland även klassificeras som en 3G teknologi då den möter 3Gs minimala överföringshastighet på 144 kilobit per sekund (kbps) [10]. Det som karakteriserar 2G nätverk är digitaliseringen och kompresseringen av tal. Detta tillåter betydligt fler mobilanvändare att rymmas inom samma begränsade frekvensspektrum via diverse operationer(multiplexering) som behandlas senare i avhandlingen.

Orsaken till att man utvecklade 3G nätverk var p.g.a. att 2G nätverkens uppbyggnad runtom i världen var olika på olika håll. Man ville skapa ett nätverk som fungerade oberoende av den teknologiska platformen och som skulle följa samma principer var man än befann sig i världen [10].

Kraven för att ett nätverk skulle få klassificeras som 3G, fastställdes i the International Mobile Telecommunications-2000 projektet (IMT-2000) av International Telecommunication Union (ITU) i början av 2000-talet. Det digitala nätverket måste tillhandahålla konsumenterna en minimal överföringshastighet på 144 kbps under rörliga förhållanden, 384 kbps för fotgängare och 2 Megabit per sekund (Mbps) inomhus [4].

UMTS och CDMA2000 EV-DO är de huvudsakliga 3G teknologierna.

3G nätverk erbjöd mobilanvändare ett bredare utbud av mer avancerade tjänster i samband med ökad nätverkskapacitet genom effektiviserad utnyttjande av frekvensspektrumet. Till tjänsterna hörde bl.a. video samtal, mobila TV teknologier och användning av digitala nätverk vid trådlösa rösttelefoneringar [14].

Senare introducerades också High-Speed Packet Access (HSPA) som, genom att introducera ett tidigare okänt fysisk lager och reformera kärnnätverket, kunde möjliggöra dataöverföringshastigheter av ett alldeles nytt kaliber. Nerladdningshastigheten med ett HSPA nätverk kan uppnå 14.4 Mbps och uppladdninghastigheten 5.8 Mbps [14].

De första lyckade fältundersökningarna av 4G nätverk skedde i Tokyo, Japan 23 Juni 2005. Den japanska nätverksoperatörn NTT DoCoMo lyckades

Figur 1: Mobila nätverks teknologierna

Teknologi \Rightarrow	1G	2G	3G	4G	5G
Egenskap \Downarrow					
Togs i bruk	1970 – 1980	1990 – 2004	2004-2010	Nu	Snart (närmare år 2020)
Data bandbredd	2kbps	64kbps	2Mbps	1 Gbps	Mera än 1 Gbps
Teknologi	Analog mobil teknologi	Digital mobil teknologi	CDMA 2000 (1xRTT, EVDO) UMTS, EDGE	Wi-Max LTE Wi-Fi	WWWW (Kommer snart)
Service	Mobil telefoning (analog)	Digital röst, SMS, högre kapacitet, paketerad data	Integrerad hög kvalitet audio, video och data	Dynamisk informations-tillgång, kroppsnära tillbehör och apparater	Dynamisk informations-tillgång, kroppsnära tillbehör med AI egenskaper
Multiplexering	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA

uppnå en nerladdningshastighet på en gigabit per sekund (Gbps) vid rörligt tillstånd på 20 km/h [1]. Det var dock först i mars 2008, som the International Telecommunications Union Radiocommunication Sector (ITU-R) specificerade kraven för 4G standarderna under namnet the International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced) [10].

Kraven för IMT-Advanced är en maximal nerladdningshastigheter på 1 Gbps och en uppladdningshastighet på 500 Mbps. Dessutom fastställdes även nya krav på radio spektrala effektiviteten och maximala latensen vid olika situationer. 4G näterk skall också stöda en rörelse på 350 km/h utan att nätförbindelsen bryts [10].

De två huvudsakliga nätverksteknologierna är LTE Advanced standardiserad av 3rd Generation Partnership Project (3GPP) och 802.16m standardiserad av Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) [1]. Figur 1 visar en tabell med de olika nätverk generationernas egenskaper. Multiplexeringen kommer att behandlas senare i avhandlingen.

1.2 Modulering

Modulering inom teleteknik innebär processen då antingen en analog audio signal eller ett digitalt bitflöde behandlas (moduleras) av en moduleringsignal, så att signalen kan bli fysiskt transporterad. Dessa modulerade signaler, även kallade bärvågor (Carrier signal), är sinuskurvor som i och med moduleringen har olika frekvenser, faser och amplituder.

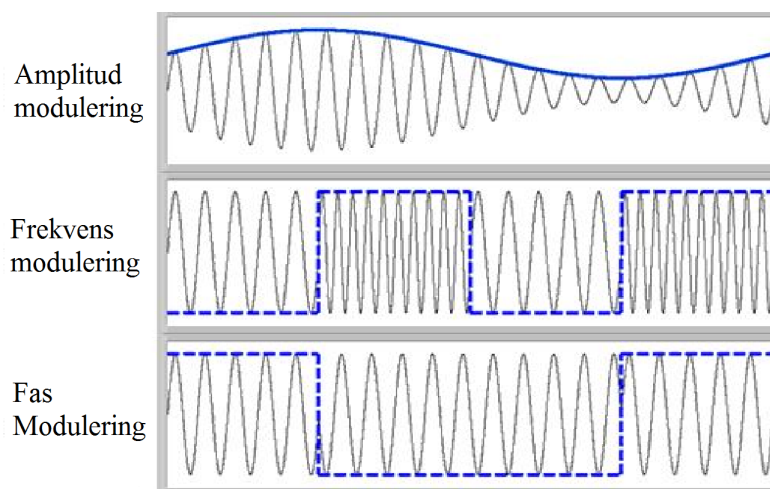
För att skicka en meddelande signal, vare sig analog eller digital, över luftrum så måste den moduleras. Moduleringen sker med hjälp av en modulator som ändrar bärvågen till en modulerad bärvåg som sedan transporteras över till mottagaren. Hos mottagaren demoduleras bärvågen av en demodulator, i vanliga fall antingen av ett modem eller telefon, och informationen som modulerats på bärvågen kan utnyttjas av mottagaren. Målet med digital modulering är att förmedla ett digitalt bitflöde över en analog basband kanal som t.ex. publika telefonnätverket eller ett begränsat radiofrekvensband.

Det finns tre stycken basmoduleringsmetoder med namnen frekvensmodulering, amplitudmodulering och fasmodulering. Amplitud- och frekvensmodulering var de första moduleringsmetoderna som togs i bruk vid sändandet av radiosignaler[13]. Alla dessa moduleringsmetoder baserar sig på att ändra sinuskurvas rörelse på sitt egna distinkta sätt. Frekvensmoduleringen betyder att man genom att ändra på frekvensen av bärvågen kan lägga till information på den [15]. Med amplitudmodulering menas det att amplituden d.v.s. höjden på kurvan ändras. Fasmodulering för sin del, ändrar på sinuskurvas fas d.v.s. ifall kurvan håller på och går uppåt så med en fasmodulering, beroende av steglängden, kan kurvan gå neråt igen. Frekvens-, amplitud- och fasmoduleringen visas i figur 2.

Alla dessa basmoduleringsmetoder används i kombination med varandra då vi ser på mer komplicerade moduleringsmetoder likt kvadraturamplitudmodulering(QAM). Dessa behandlas dock senare i avhandlingen.

1.3 Struktur

Denna avhandling kommer till näst att presentera LTE och LTE-Advanced teknologierna och sedan kommer den att fokusera sig på LTE-Advanced teknologins egenskaper och hur den skiljer sig från andra teknologier. I del 3 behandlas allmänt moduleringen på djupare nivå och sedan fokuserar avhandlingen på QAM, multiplexering och Ortogonal frekvensdelningsmultiplexering (OFDM).Till slut behandlar del 4 moduleringen i LTE-Advanced med närmare inblick på OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) som är fleranvändar versionen av OFDM.



Figur 2: Vid Frekvens-, amplitud- och fasmodulering ändras egenskaperna av bärvågen då information läggs till på den.

2 LTE

Ibrukttagandet av fjärde generationens (4G) mobila bredband system baserade på den högt flexibla Long Term Evolution (LTE) radio tillgångs teknologin fastställd av Third Generation Partnership Project (3GPP) är för tillfället storskaligt pågående, med flera system redan i fullt kommersiellt bruk [12]. De flesta av dessa system baserar sig på LTEs första eller andra release, 3GPP Release 8 eller Release 9, som blev klara år 2008 samt 2009. Dessa releasor uppnår inte IMT-Advanced kraven på 4G nätverk [10][?] och därför marknadsförs ofta Release 8 och 9 som antingen 3.9G eller 4G LTE.

3GPPs Release 8 och 9 kan stå för en maximal nerladdnings- och uppladdningshastighet på 300 samt 75 Mbps. Release 8 förser också användaren med en radionätverksfördröjning som alltid är mindre än 5 millisekunder (ms) tillsammans med en betydande ökning i utnyttjandet av frekvensspektrumet. LTE medför även stort stöd inför övergången från tidigare 3GPP nätverksteknologier som t.ex. time-division synchronous code division multiple access (TD-SCDMA), Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA), HSPA samt cdma2000[12].

Release 9, som effektivitetsmässigt är ungefär på samma nivå som Release 8, medför stöd för TV- och radio-sändningar, positionerings services, ökad nödsamtal funktionalitet och förbättringar för downlink dual-layer beam forming.

I Mars år 2010 standardiserade 3GPP LTE Release 10 [2]. Det viktigaste målet med Release 10 är att garantera att LTE tillfredsställer IMT-Advanced

kraven definierade av ITU-R. Relationen mellan IMT-Advanced och LTE Release 10 och framöver, har lett till att dessa nätverk ofta kallas för LTE-Advanced nätverk. Alla nätverk som uppnår IMT-Advanced specifikationerna får även marknadsföras som 4G nätverk[12].

2.1 3GPP och IMT-Advanced

IMT-Advanced är termen använd av ITU-R för radio nätverks teknologier efter IMT-2000 [4]. År 2008 tog ITU-R emot kandidatansökningar av organisationer som skulle klara av att skapa teknologier som satisfierade IMT-Advanced specifikationerna, varvid de största kandidaterna är IEEE och 3GPP[10][9]. Eftersom 3GPP redan då förväntade sig att deras ansökan skulle accepteras, så påbörjade 3GPP redan i mars 2008 projektet med namnet LTE Release 10, även känt som LTE-Advanced, som skulle vara 3GPPs kandidat inför IMT-Advanced. Detta projekt blev klart i mars 2010 varpå 3GPP samma år presenterade det åt ITU-R. 3GPPs LTE Release 10 inte enbart uppnår IMT-Advanced specifikationerna, utan t.o.m. överträffar dem, vilket även var orsaken till att ITU-R godkände LTE Release 10 som en av de två IMT-Advanced teknologier[12].

Figur 3: IMT-Advanced kraven

Item	IMT-Advanced
Peak Data Rate (DL)	1 Gbps
Peak Data Rate (UL)	500 Mbps
Spectrum Allocation	>40 MHz
Latency (User Plane)	10 ms
Latency (Control Plane)	100 ms
Peak Spectral Efficiency (DL)	15 bps/Hz (4 X 4)
Peak Spectral Efficiency (UL)	6.75 bps/Hz (2 X 4)
Average Spectral Efficiency (DL)	2.2 bps/Hz (4 X 2)
Average Spectral Efficiency (UL)	1.4 bps/Hz (2 X 4)
Cell-Edge Spectral Efficiency (DL)	0.06 bps/Hz (4 X 2)
Cell-Edge Spectral Efficiency (UL)	0.03 bps/Hz (2 X 4)
Mobility	Up to 350 km/h

Den andra är 802.16m standardiserad av IEEE[1]. I figur 3 visas några av IMT-Advanced kraven.

2.2 LTE-Advanced

LTE-Advanced innefattar alla 3GPPs Releases fr.o.m. Release 10 och framöver. LTE-Advanced är en direkt uppgradering från LTE Release 8 och 9, eftersom allting som finns i LTE Release 8 och 9 även finns i LTE-Advanced. Det är viktigt för en operator att utveckla system som redan finns istället för att skapa helt nya system. Detta ger operatören en möjlighet att introducera nya teknologier utan att förstöra redan existerande investeringar.

En terminal, i allmänhet en mobiltelefon, byggs med mjuk- och hårdvara som stöder olika mobila nätverksteknologier, dvs terminalerna sätts i kategorier. Terminaler som hör till en kategori som endast stöder 3G nätverksteknologier och äldre kan inte ansluta sig till LTE nätverk. En terminal som hör till LTE kategorin kan ansluta sig till alla LTE och äldre generationers nätverk[12], t.ex. Både en Release 10 och 8 terminal, som båda hör till LTE kategorin, kan båda ansluta sig till ett LTE nätverk eller ett äldre generationens nätverk(LTE-Advanced, LTE, 3G, 2G). Dock klarar inte LTE Release 8 och 9 terminaler av att få ut de maximala dataöverföringshastigheterna och andra förmånerna som LTE-Advanced nätverken bjuder på. Detta ger en operator möjligheten att ta ett LTE Release 8 nätverk i bruk och när det blir nöd, uppgradera nätverket till t.ex. Release 10, vilket nästan helt och hållet kan ske med en simpel mjukvarouppgradering[2].

De största förbättringarna från LTE Release 8 och 9 är att LTE-Advanced stöder egenskaper likt bärvågaggregation (eng. Carrier aggregation), förbättrat multiantennstöd och reläande[12].

LTE Advanced erbjuder betydligt högre dataöverföringshastigheter än alla tidigare nätverk. Fastän frekvensspektrumets utnyttjande har effektiverats, så räcker inte detta i sig att uppnå dataöverföringshastigheterna som IMT-Advanced kräver. För att nå dessa hastigheter, d.v.s. 1 Gbps nerladdnings- och 500 Mbps uppladdningshastighet [10], så måste transmissions bandbredden ökas över vad en enskild bärvåg klarar av. Metoden som klarar av detta kallas för bärvågsaggregation. LTE Advanced bärvågsaggregation möjliggör utnyttjandet av mer än en bärvåg och på detta sätt höja den totala transmissionsbandbredden. Dessa bärvågar kan vara intilliggande element i frekvensspektrumet eller så kan de vara i olika band (eng. band) d.v.s. olika sektioner i frekvensspektrumet[12]. I områden där spektrumtillgång är ett problem och bandbredden av ett band kan vara endast 10 MHz, så är bärvågsaggregation över flera band en effektiv metod att ändå behålla höga dataöverföringshastigheter, fastän detta kan leda till aningen fler tekniska utmaningar.

LTE stöder ett rikligt antal med multiantenn transmissionsteknologier redan i sin första Release, men i Release 10, stöder nerlänk spatial multiplexering (eng. downlink spatial multiplexing) upp till åtta stycken transportskikt och upplänk upp till fyra tillsammans med en förbättrad referenssignalstruktur[12]. Tidigare Releasear måste anförlita sig på cellspecifika referenssignaler för högre gradens spatiala multiplexering, men detta är inte så önskvärt eftersom referenssignalens pålägg (eng. overhead) inte är proportionell med den momentana transmissionsgraden utan med den maximala understödda transmissionsgraden[5]. Därför introducerar Release 10 omfattande stöd

för User equipment(UE) specifika referenssignaler för demodulering av upp till åtta transportskikt. UE specifika referenssignaler har en högre frekvens och skickas endast då data överförs på motsvarande transportskikt, vilket vid speciellt för högre gradens spatiala multiplexering minskar märkbart på referenssignalens pålägg.

I och med att allt fler och fler börjar använda mobila nätverk så växer också vikten med att nätverkena är stabila och att dataöverföringshastigheterna är snabba. Dataöverföringshastigheterna är starkt beroende på avståndet från terminalen till basstationen samt ifall terminalen befinner sig inomhus eller utomhus. Dessa problem har LTE-Advanced lyckats förminska m.h.a. reläändarstationer. Grundidén med reläändarstationer är att

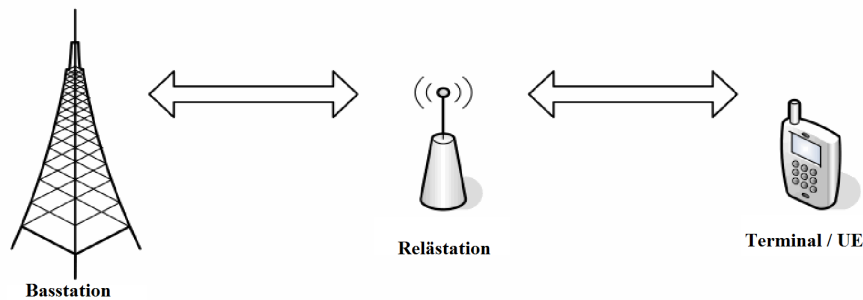
Figur 4: LTE och LTE-Advanced

det placeras ut relästationer som för vidare signalerna mellan basstationen och terminalen. På detta vis kan man upprätthålla signalstyrkan över större områden utan att behöva fler basstationer i och med kedjedataöverföringen som äger rum[12][2]. Figur 5 visar en bild på hur terminalen kommunicerar med relästationen som i sin del kommunicerar med basstationen. Detta leder till att nätkontakten hålls starkt fastän fastän det inte finns en basstation nära.

	LTE		LTE-Advanced	
	Nedlänk	Upplänk	Nedlänk	Upplänk
Maximala frekvensspektrum utnyttjande (b/s/Hz)	>5	>2.5	30	15
Genomsnittliga frekvensspektrum utnyttjande (b/s/cell)	1.6-2.1	0.66-1.0	2.4-3.7	1.2-2.0
Cellkant frekvensspektrum utnyttjande (b/s/ användare)	0.04-0.06	0.02-0.03	0.07-0.12	0.04-0.07
Verksamhetsbandbredd (MHz)	1.4-2.0		Upp till 100	
Jämna användarlåtens (ms)	<5		<5	
Anslutningsprocesslåtens (ms)	<100		<50	

Detta leder till att nätkontakten hålls starkt fastän fastän det inte finns en basstation nära.

Med hjälp av ovannämnda uppgraderingar i kombination med en del andra förbättringar likt koordinerad multipunkt transmission och mottagande, så har LTE-Advanced lyckats få en både betydligt bättre frekvensspektrum effektivitet som latens i jämförelse med LTE. Övergångstiden för ett LTE-Advanced nätverk från stillastående till aktiv mode är ungefär 50 ms jämfört med LTE nätverkens 100 ms[11]. Figur 4 visar skillnaderna mellan LTE och LTE-Advanced då det gäller effektiviteten av utnyttjandet av frekvensspektrumet. Figuren visar även skillnaden mellan latenserna i de båda teknologierna.



Figur 5: Reläande

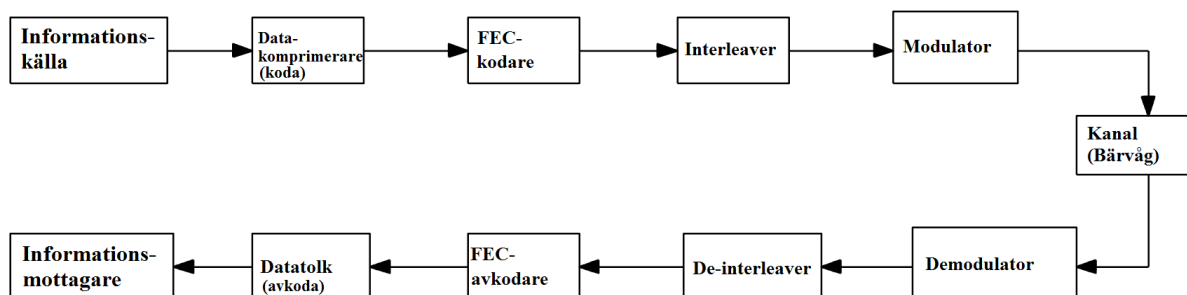
3 Databehandling

Som figur 6 visar så finns det flera olika steg förrän digitalt data kan skickas över radiofrekvenserna.

Då data skickas så måste det först omkodas till et mindre format via datakomprimering (eng. source encoding), så att datat upptar så litet av bandbredden som möjligt. När datasekvenser komprimeras brukar man kalla det att sekvensen kodas (eng. encode). Att avkoda (eng. decode) är att översätta den kodade sekvensen till den ursprungliga datasekvensen[7].

Efter datakomprimeringen tillsätts det en felrättande kod, en så kallad forward error correction (FEC) kod för att identifiera och med en stor sannolikhet även rätta felen. Med hjälp av att tillsätta paritetsbitar i datasekvensen som sedan kontrolleras av datamottagaren, så kan man m.h.a. FEC hitta de flesta av bitfelen som sker och på detta sätt undvika att samma data på nytt måste skickas över frekvensbandet[3]. Det finns flera olika error correction codes men FEC är inom mobila nätverk den ända som används p.g.a. att de andra metoderna kräver att datat på nytt måste skickas och detta inte är optimalt för frekvensbredband då det lätt överbelastas. I och med de extra bitarna som tillsätts vid användandet av FEC så blir totala antalet bitar per meddelande större, men det har räknats ut att det är värt att skicka de större meddelandena istället för att på nytt kräva datat från källan.

Tillsättandet av FEC koden efterföljs av interleavern, som systematiskt omarrangerar bitsekvensen som skall skickas. Omarrangeringen (interleaving) gör så att eventuella korta salvor av bitfel, d.v.s. efter varandra påföljande bitfel, sprids ut hos mottagaren, vilket i sig leder till att FEC kan arbeta effektivare. Interleaving är viktigt inom mobila nätverk, eftersom p.g.a. kommunikationskanalernas uppbyggnad så genereras bitfelen oftast i salvor. Utan interleaving så kan inte alltid FEC korrigerar felen[8].

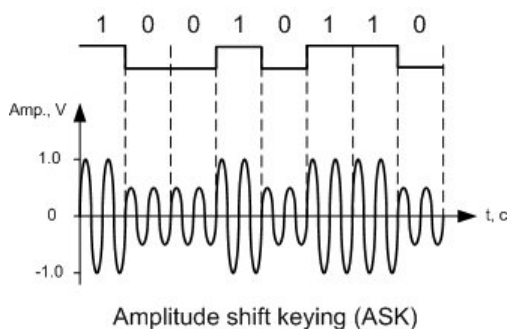


Figur 6: Datat måste genomgå flera steg innan det slutligen moduleras och skickas iväg.

Till näst kommer moduleringen, varpå den modulerade signalen skickas över frekvensbreddbandet till mottagaren. Hos mottagaren demoduleras signalen och sedan arrangeras datat (De-interleaving). Därpå granskas och korrigeras dataströmmen enligt FEC koden, varpå FEC koden tas bort. Sedan dekomprimeras datat av datatolken varpå mottagaren får tillgång till det ursprungliga datat[7].

3.1 Moduleringsmetoder

Som i introduktionen nämndes så måste alla meddelanden som vill skickas över frekvensspektrumet appliceras d.v.s. moduleras, på en bärvåg. De basmetoder som nämndes i introduktionen duger dock endast för analoga meddelanden. Ifall dessa moduleringsmetoder vill användas för att skicka en digital bitström så används frequency-shift keying (FSK), amplitude-shift keying (ASK) och phase-shift keying (PSK). Dessa är de tre viktiga moduleringsmetoderna inom digital modulering som sedan i mer avancerade metoder kombineras och förändras så att de klarar av att hantera större mängder data. Skillnaden mellan basmoduleringsmetoderna och shift keying metoderna är att shift keying metoderna klarar av att representera och modulera digital data genom att hoppa mellan av och på enligt två förhandsbestämda värden. Dessa av och på



Figur 7:

hoppanden representerar även formatet som digital data representeras med d.v.s. binära nollor och ettor. Figur 7 visar hur bärvågen ser ut efter att den modulerats med amplitude-shift keying. De höga amplituderna motsvarar den digitala ettan medan den låga amplituden motsvarar nollan.

Av dessa tre digitala moduleringsmetoderna så är phase-shift keying den viktigaste då det finns så många punkter på konstellationsdiagrammet. Ju fler av dessa punkter som ingår i moduleringen desto mer data sinusvågen kan transportera. Binary phase-shift keying (BPSK) använder sig av två punkter på diagrammet, vilket medför en bit data per symbol på konstellationsdiagrammet. Quadrature phase-shift keying (QPSK) har fyra punkter, vilket leder till att QPSK kan transportera dubbelt snabbare data än BPSK d.v.s. 2 bitar per symbol[6].

3.1.1 QAM

3.1.2 Multiplexing

3.1.3 OFDM

3.1.4 D/A converting

3.2 QAM

3.3 Multiplexing

3.4 OFDM

4 Modulering i LTE

4.1 LTE Layer 1

4.2 QAM i LTE

4.3 Multiplexing i LTE

4.4 OFDMA

5 Sammanfattning

Referenser

- [1] *Evolution of Mobile Wireless Communication Networks-1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Network*. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 2(8):47–53, 2013.
- [2] Abdullah, M. F L och Yonis, A. Z.: *Performance of LTE Release 8 and Release 10 in wireless communications*. I *Proceedings 2012 International Conference on Cyber Security, Cyber Warfare and Digital Forensic, CyberSec 2012*, sidor 236–241, 2012, ISBN 9781467314251.
- [3] Alexiou, Antonios, Bouras, Christos och Papazois, Andreas: *A study of forward error correction for mobile multicast*. International Journal of Communication Systems, 24(5):607–627, 2011, ISSN 1099-1131. <http://dx.doi.org/10.1002/dac.1178>.
- [4] Carsello, R.D., Meidan, R., Allpress, S., O'Brien, F., Tarallo, J.A., Ziesse, N., Arunachalam, A., Costa, J.M., Berruto, E., Kirby, R.C., Maclatchy, A., Watanabe, F. och Xia, H.: *IMT-2000 standards: radio aspects*. Personal Communications, IEEE, 4(4):30–40, Aug 1997, ISSN 1070-9916.
- [5] Ghosh, Amitava, Xiao, Weimin, Ratasuk, Rapeepat, Rottinghaus, Alan och Classon, Brian: *Multi-antenna system design for 3gpp LTE*. I *ISWCS'08 - Proceedings of the 2008 IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems*, sidor 478–482, 2008, ISBN 9781424424894.
- [6] Gonzalez-Iglesias, D., Belloch Rodriguez, M.P., Moneris Belda, O., Gimeno, B., Boria, V.E., Raboso, D. och Semenov, V.E.: *Analysis of Multipactor Effect Using a Phase-Shift Keying Single-Carrier Digital Modulated Signal*. Electron Devices, IEEE Transactions on, 60(8):2664–2670, Aug 2013, ISSN 0018-9383.
- [7] Hanzo, L., Ng, S.X., Webb, W.T. och Keller, T.: *Quadrature Amplitude Modulation: From Basics to Adaptive Trellis-Coded, Turbo-Equalised and Space-Time Coded OFDM, CDMA and MC-CDMA Systems*. IEEE Press-John Wiley, September 2004.
- [8] Huang, Zheng, Wang, Xin, Chen, Xueqing och Kan, Haibin: *Network Coding With Interleaving*. I *Parallel Processing Workshops, 2007. ICPPW 2007. International Conference on*, sidor 43–43, Sept 2007.

- [9] Loa, Kanchei, Wu, Chih Chiang, Sheu, Shiann Tsong, Yuan, Yifei, Chion, Mary, Huo, David och Xu, Ling: *IMT-advanced relay standards*. IEEE Communications Magazine, 48(8):40–48, 2010, ISSN 01636804.
- [10] Mshvidobadze, T.: *Evolution mobile wireless communication and LTE networks*. I *Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2012 6th International Conference on*, sidor 1–7, Oct 2012.
- [11] Parikh, Jolly och Basu, Anuradha: *LTE Advanced The 4G Mobile Broadband Technology*, 2011. ISSN 09758887.
- [12] Parkvall, Stefan, Furuskär, Anders och Dahlman, Erik: *Evolution of LTE toward IMT-advanced*. IEEE Communications Magazine, 49(2):84–91, 2011, ISSN 01636804.
- [13] Roder, H.: *Amplitude, Phase, and Frequency Modulation*. Radio Engineers, Proceedings of the Institute of, 19(12):2145–2176, Dec 1931, ISSN 0731-5996.
- [14] Scharnhorst, Wolfram, Hilty, Lorenz M. och Jolliet, Olivier: *Life cycle assessment of second generation (2G) and third generation (3G) mobile phone networks*. Environment International, 32(5):656 – 675, 2006, ISSN 0160-4120.
- [15] Sturley, K.R.: *Frequency modulation*. Electrical Engineers - Part III: Radio and Communication Engineering, Journal of the Institution of, 92(19):197–213, September 1945.