

Mobila Nätverk

Zdenek Becvar, Pavel Mach, Ivan Pravda

Författarna: Zdenek Becvar, Pavel Mach, Ivan Pravda
Titel: Mobila Nätverk
Översatt av: Dalibor Svoboda
Publicerad av: České vysoké učení technické v Praze
Sammanställt av: Fakulta elektrotechnická
Kontakt adress: Technická 2, Praha 6, Czech Republic
Telefonnummer: +420 2 2435 2084
Print: (only electronic form)
Antal sidor: 99
Utgåva, utgåvan: 1:a utgåva

ISBN 978-80-01-05309-6

Granskad av: Jaroslav Chlumsky

Innovative Methodology for Promising VET Areas
<http://improvet.cvut.cz>



**Programmet
för livslångt
lärande**

Projektet genomförs med ekonomiskt stöd från Europeiska kommissionen.
För uppgifterna i denna publikation (som är ett meddelande) ansvarar endast upphovsmannen. Europeiska kommissionen tar inget ansvar för hur dessa uppgifter kan komma att användas.

FÖRKLARINGAR



Definition



Intressant



Not, notering



Exempel



Sammanfattning



Fördel



Nackdel

ANTECKNING

Modulen innehåller information om grundläggande principer som används i olika generationer av mobila nät. Vidare finns beskrivna egenskaperna hos olika teknologier de olika mobilnät (GSM, CSD, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS, LTE-(A), HSDPA, HSUPA, etc).

MÅL

Efter kursen är studenten tydligt bekant med principerna för mobilnät, i synnerhet med den funktionella organisationen av cellulära nät samt principen vad gäller driften av dess enskilda delar.

Studenten ska kunna redogöra för grundlig klasifikation och telekommunikation i mobila nät, de olika generationers mobila system och struktur, dess olika delar och funktioner inklusive lägebestämning och vision för framtiden.

LITTERATUR

- [1] M. Sauter, "From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband" Wiley, 2011.
- [2] H. Holma, A. Toskala, "LTE for UMTS Evolution to LTE-Advanced," Second edition, Wiley, 2011.
- [3] G. Heine, H. Sagkob, „GPRS: Gateway to Third Generation Mobile Networks“, ISBN: 1-58053-159-8, 2003.
- [4] T. Halonen, J. Romero, J. Melero, „GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS“, ISBN: 0-470-86694-2, 2004.
- [5] H. Holma, A. Toskala, „WCDM for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, third edition, ISBN: 978-0-470-87096-9, 2006.
- [6] H. Holma, A. Toskala, „HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communication“ ISBN: 978-0-470-01884-2, 2006.
- [7] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband," Academic Press, 2011.
- [8] METTALA, , Riku. Bluetooth Protocol Architecture, Version 1.0. White Paper, 1999.

- [9] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Profiles, Volume 2, February 2001.
- [10] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Core Package version 2.0 + EDR, Volume 0 – 3, November 2004.
- [11] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Core Package version 2.1 + EDR, Volume 0 – 4, July 2007.
- [12] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connections Made Easy, Core Package version 3.0 + HS, Volume 0, April 2009
- [13] Specification of the Bluetooth System: Experience More, Core Package version 4.0, Volume 0, June 2010
- [14] Global Positioning System Standard Positioning Service: Performance Standard, 4th edition, September 2008
- [15] Global Positioning System Standard Positioning Service: Signal Specification, 2nd edition, June 1995
- [16] Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces: Interface Specifications, Revision D, December 2004
- [17] Galileo Open Service: Signal In Space Interface Control Document, Draft 0, May 2006
- [18] S. Steiniger, M. Neun, A. Edwardes, "Foundations of Location Based Services", University of Zurich.
- [19] ROYER, Elizabeth. A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks. 1999.
- [20] GAST, Matthew. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. 1st edition, 2002. 464s. ISBN 0-596-00183-5.
- [21] BESTAK, R. - PRAVDA, I. - VODRAZKA, J.: Principle of Telecommunication Systems and Networks. 1. ed. Prague: Ceska technika - nakladatelstvi CVUT, 2007. 134 p. ISBN 978-80-01-03612-9.
- [22] JANSEN H., RÖTTER H. and coll.: Informationstechnik und Telekommunikationstechnik (Lernmaterialien), Europa-Lehrmittel, Haan 2003. ISBN 3-8085-3623-3.

Innehållsförteckning

1	Inledning	8
1.1	Överföringsvägar för radio	8
1.2	Grundläggande klassificering av radioresurser	10
1.3	Översikt av kategorier och teknologi	11
2	Mobile Telecommunication Networks.....	13
2.1	Inledning.....	13
2.2	Cellulära mobiltelefonnät	15
2.3	Sektoriseringsprincipen	17
2.4	Åtkomstmetoder	19
2.5	Princip för automatisk återanslutning.....	21
3	GSM Mobile Network – Andra generationens mobilnät.....	24
3.1	Basfakta om GSM systemet	24
3.2	GSM-systemet och dess normer	25
3.3	Tjänster och program.....	26
3.4	GSM-näts uppbyggnad.....	27
3.5	Mobilstationens struktur och funktionalitet	29
3.6	Mobil terminal och dess koppling till basstationen.....	31
3.7	Dataöverföring i GSM-nätverk och 2,5 generationens mobila system	33
3.8	CSD dataöverföring i GSM-nätverk.....	35
3.9	HSCSD dataöverföring i GSM-nätverk	36
3.10	GPRS-dataöverföring i GSM-nätverket	38
3.11	EDGE dataöverföring i GSM-nätverk.....	40
4	Universell Mobil Telekommunikation System (UMTS)	42
4.1	Inledning.....	42
4.2	UMTS frekvensallokering.....	43
4.3	WCDMA	44
4.4	Standardisering och UMTS evolution	45
4.5	Nätets uppbyggnat.....	46
4.6	HSDPA	48
4.7	HSUPA.....	53
4.8	Tjänster och QoS differentiering.....	55
5	Long Term Evolution (Avancerat) - LTE(-A).....	57
5.1	Inledning.....	57
5.2	Nätverks uppbyggnad.....	59

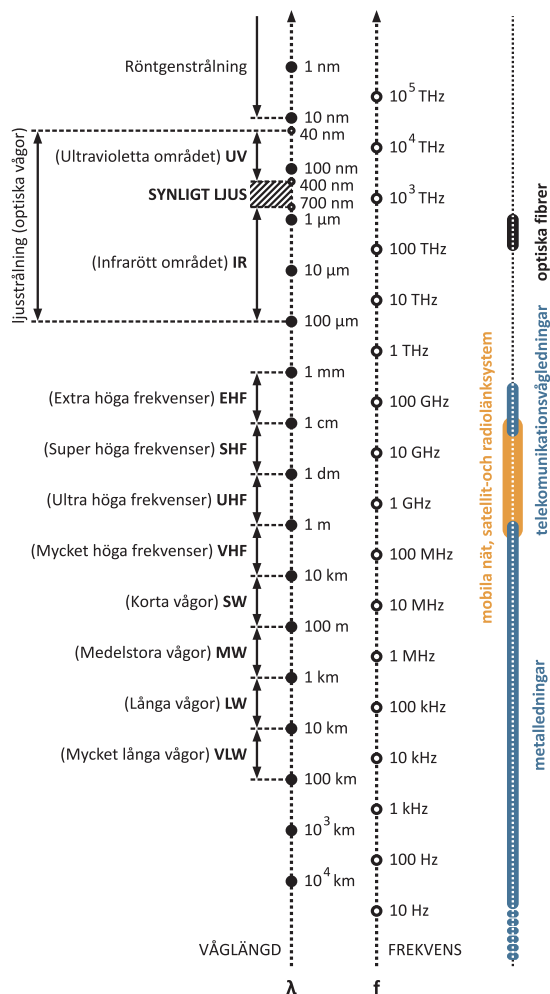
5.3	LTE/LTE-A fysiska skiktet	61
5.4	Strålformning.....	65
5.5	Flerfaldig antennöverföring.....	66
5.6	Sammanläggning av bärare	67
5.7	Tjänster och tillämpningar i LTE / LTE-A	69
5.8	Femtoceller.....	71
5.9	Reläer.....	73
6	Tillfälliga nätverk - Ad Hoc nätverk	75
6.1	Ad Hoc nätverk (Tillfälliga nätverk).....	75
6.2	MAC-protokoll	78
6.3	Routing protokoll	79
6.4	Säkerhet.....	81
6.5	Teknik som möjliggör ad hoc.....	82
6.6	Trådlösa sensornätverk.....	85
6.7	Mesh-nät.....	86
7	Flerpunkts distribution system (Multipoint Distribution Systems)	88
7.1	Lokal flerpunkts distributions system (LMDS).....	88
7.2	Flerkanals och flerpunkts distributions system (MMDS)	90
8	Platsbaserade tjänster.....	92
8.1	Platsbaserade tjänster	92
8.2	Satellite positionering systems	93
8.3	Lägesbestämning med hjälp av mobila nätverk	98
9	Framtida trender inom mobilkommunikationen.....	99

1 Inledning

1.1 Överföringsvägar för radio

Elektromagnetiska vågor, som effektivt kan förökas på specifika frekvenser genom fritt utrymme, används för genomförandet av radiosändning. En lämplig grupp av elektromagnetiska vågor kallas radiovågor. Radiovågorna kan delas på grundval av deras användning i dessa olika kategorier (se följande lista och figur):

- Radio Band (bärvåg från hundratals kHz upp till tiotals MHz) - LW (Långvåg), MW (mellenvåg), SW (kortvåg) och VHF (mycket höga frekvenser)
- TV Band (bärvåg från tiotals till hundratals MHz)
- Mobilnät och Mikrovågs Band (bärvåg av en GHz)
- Satellitlänkar, radio relälänkar och trådlöst bredband accessnät (bärvåg upp till tiotals GHz)



Frekvensband som används av radiosystem



Radiosystem kan antingen erbjuda fasta eller trådbundna resurstillgångar, särskilt där det är bekvämt, eller så kan du använda dem för att skapa tydliga mobila och fasta nät som erbjuder ett brett utbud av tjänster.



Den största ekonomiska nyttan av radiosystem uppnås särskilt i "svåråtkomliga" områden samt platser med gles befolkning där det inte är kostnadseffektivt eller lämpligt att bygga ett kabelnät. Det trådlösa nätverket har hög flexibilitet, som tillfälligt kan användas när kunden kräver omedelbart anslutning till nätinфраstruktur (t.ex. vid konserter, möten, etc.).

1.2 Grundläggande klassificering av radioresurser



Radioresurserna kan distribueras genom ett antal olika medel. Radioresurserna kan klassificeras exempelvis enligt:

- frekvensband - smalbandiga radiosystem och brettbandiga radiosystem
- sändningsriktning - enkelriktade radiosystem och dubbelriktade radiosystem
- konfiguration av radiosystem - punkt-till-punkt och punkt-till-multipunkt
- abonnent rörlighet - fast trådlösa accessnät eller mobil terminal
- överföringsresurser - markbundna länkar eller satellitlänkar
- licensband kontra licensfria band (ganska viktigt för planering och skapande av trådlösa nätverk)



Enligt den mängd av tjänster som tillhandahålls kan radioresurser och nätverk också klassificeras med hjälp av röst-, data etc.



Andra sätt att klassificera radioresurser kan göras på följande sätt:

- frekvensband
- använt modulerings-och kodningsschema
- metoden som används för delning av bandbredden (**FDM** (*Frequency Division Multiplex*) och **TDM** (*Time Division Multiplex*))
- tillgången till delade resurser (**FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*), **TDMA** (*Time Division Multiple Access*), **CDMA** (*Code Division Multiple Access*) och **OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*))

Slutligen kan man också dela radiosystem i offentliga och privata, etc.

1.3 Översikt av kategorier och teknologi

För fullständigheten samt integriteten i vår initiala granskning, är det lämpligt att genomföra en omfattande analys av trådlös teknik som är nära relaterad till ämnet som presenteras i denna modul.

Den första kategorin av radiokommunikationsteknik utgörs av analoga och digitala trådlösa system som kompletterar, och i vissa fall helt ersätter traditionella telefoner. Denna kategori omfattar utan tvekan **CT** (*Cordless Telephone*) system version CT0, CT1, CT2 och **DECT** (*Digital European Cordless Telephone*) system. Syftet med de ovannämnda systemen är att ersätta fasta trådbundna abonnentledningar och aktivera rörlighet inom ett begränsat område för användarna. Det är därför i princip det mest typiska smalbandiga tillträdet för införande av fasta trådlösa abonnenttelefonnät med beteckning **WLL** (*Wireless Local Loop*).

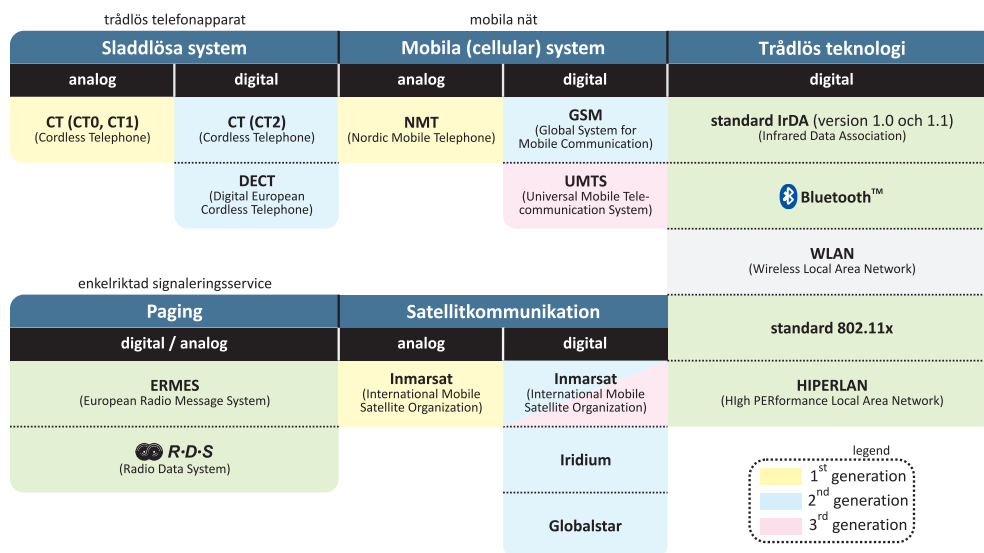
Den andra kategorin utgörs av både analogt och digitalt cellulär (nedan i modulen endast kallad cellulär) system som bildar infrastrukturen för särskiljande mobilradionät. Till exempel 1:a generationens system (som var analoga), känt som **NMT** (*Nordic Mobile Telephone*). Dessa följdes av digitala system av 2:a generationen, känt som **GSM** (*Global System for Mobile Communication*), därefter genom system av 3:e generationen som kallas **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*), och slutligen, genom systemen i 4:e generationen, betecknat **LTE-A** (*Long Term Evolution-Advance*). Dessa tekniker kommer att beskrivas i detalj i de följande kapitlen.

Som den tredje kategorin kan man nämna trådlös teknik som används för att uppfylla kraven och behoven i de personliga, lokala, storstads och över stora områden utsträckta nätverken med hjälp av **PAN** (*Personal Area Network*), **LAN** (*Local Area Network*), **MAN** (*Metropolitan Area Network*) och **WAN** (*Wide Area Network*). Dessa inkluderar standard **IrDA** (*Infrared Data Association*) i version 1,0 och 1,1, och så den dynamiskt utvecklade Bluetooth™-tekniken. För att komplettera översikten måste man också peka ut **WLAN** (*Wireless Local Area Network*) teknik baserad på 802.11x standard och **HIPERLAN** (*High Performance Local Area Network*), som är ett europeiskt alternativ till IEEE 802,11.

Den fjärde kategorin kan kombineras med teknik som ger så kallad "paging". Namnet representerar en-vägs radiosystem som tillhandahåller radiokontakt tjänster. Radions pagingssystem inkluderar europeiska **ERMES** (*European Radio Message System*) eller **RDS** (*Radio Data System*) globala systemet.

Den sista och femte, men på sitt eget sätt lite särskilda kategori radiosystem är satellitkommunikation. Det är inte ett tillträdessystem i strikt mening eftersom dess täckning inkluderar en stor del av jordens yta och bredvid interkontinentala anslutningar är av särskild betydelse för marin- och luftfartstäckning samt täckning i otillgängliga, glesbefolkade områden. Som företrädare för denna kategori kan nämnas analoga och digitala system såsom **INMARSAT** (*International Mobile Satellite Organization*), **Iridium** eller **Globalstar**.

De satellitbaserade positionsbestämningssystemen är en kompletterande kategori i vår översikt. Denna omfattar i synnerhet det amerikanska **GPS** (*Global Positioning System*) systemet, det framväxande europeiska systemet, med namnet Galileo samt det ryska systemet känt under namnet **GLONASS**. Alla dessa system förkortas **GNSS** (*Global Navigation Satellite System*). Listan över all teknik som används för mobil kommunikation presenteras i figur 2.



Översikt över teknologi för mobil kommunikation

Vi kommer att beskriva de digitala cellulära systemen i detalj i de följande kapitlen.

2 Mobile Telecommunication Networks

2.1 Inledning

Förutom fasta trådbundna nätverk, finns det mobila nätverk som ger trådlös anslutning och överföring av data. Utöver radiodelar, innefattar det mobila nätet också hela kärnnät samt fast infrastruktur för att möjliggöra leverans av olika typer av tjänster. Med varje introducerad ny generation växer förmågan att möta ökade krav. Dagens mobilnät som använder digitalt koncept är det enda alternativet för både den närmaste och även avlägsen framtid.



GSM är ett digitalt mobilt system som representerar den andra generationens mobilsystem och kan betecknas som ett digitalt cellulärt mobilt radiotelefonssystem.



Den kommande tredje generationens mobilsystem kallas UMTS. Dessa digitala system fungerar i 2 GHz-banden, och för närvarande integrerar trådlösa accessteknologier i en massiv infrastruktur som erbjuder ett brett utbud av multimediatjänster med garanterad kvalitet.

Den fjärde generationen betecknas som LTE-A. Den fokuserar på att möta ökade användarkrav vad gäller överföringshastigheter och låg fördröjning för olika uppsättningar av tjänster.

(Olika) Generationer av mobila system

Generation	Name/Abbreviation	Characteristics
1 st generation (1980 to 1995)	NMT (<i>Nordic Mobile Telephone</i>); FIN, S, N, DK AMPS (<i>Advanced Mobile Telephone System</i>); USA TACS (<i>Total Access Communication System</i>); UK, IRL RADIOCOM 2000 ; FR	Analoga systems Nationella systems röstmeddelande
2 nd generation (sedan 1992)	GSM (<i>Global System for Mobile Communication</i>) DAMPS (<i>Digital AMPS</i>), resp. IS136; USA PCS 1900 (<i>Personal Communication System</i>); USA PDC (<i>Personal Digital Communication</i>) GPRS (<i>General Packet Radio Service</i>); betecknas som 2.5 generation EDGE (<i>Enhanced Data rates for Global Evolution</i>) betecknas som 2.75 generation	Digitala systems röstmeddelande + data

3 rd generation (sedan 2004)	CDMA 2000 (1×EV-DO, 1×EV-DV) UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>) HSPA (<i>High Speed Packet Access</i>), HSPA+; betecknas som 3.5 generation LTE (<i>Long Term Evolution</i>); betecknas som 3.9 generation	multimedia
4 th generation (ej tillgänglig än)	LTE-A (<i>Long Term Evolution-Advanced</i>)	multimedia

2.2 Cellulära mobiltelefonnät

Mobiltelefoners anslutning kan aktiveras medelst radiotelekommunikation och deras drift vanligtvis följer det fasta telefonnätets drift. Slutmonteringen består av:

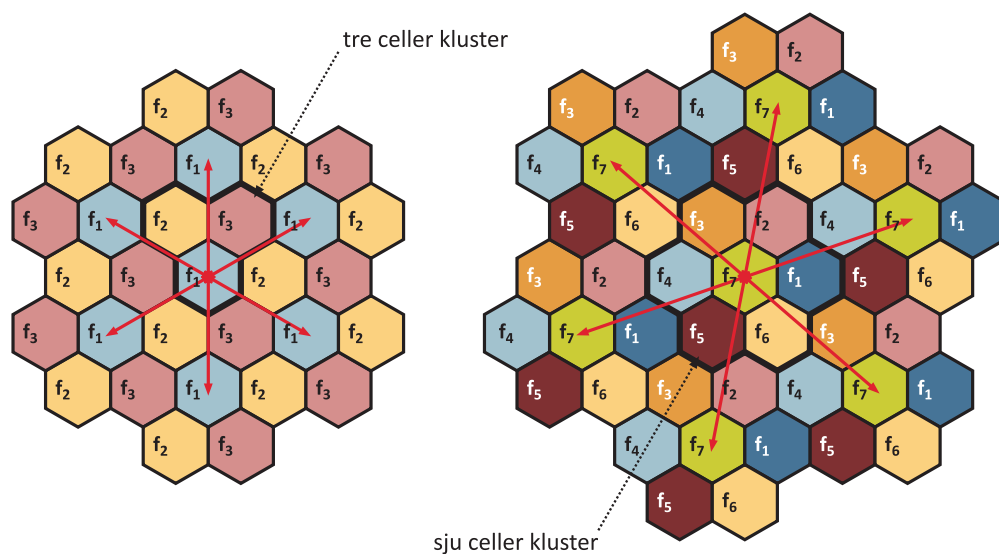
- ramverk för fast BS (Basstation)
- MS-terminaler (Mobil Station)



En av de mest grundläggande principerna som tillämpas i moderna mobila telekommunikationssystem bygger på delning av operativt område i partiellt elementära områden kallade celler, som betjänas av en särskild basstation.

Storleken av celler som används i olika mobilsystem beror primärt på typ och syftet i dessa system och kan klassificeras enligt följande:

- femtocell (lägenheter eller kontor) - avsedd för att täcka områden med låg signalkvalitet från andra celler. Vanligtvis placerad inomhus med radie på flera meter.
- pikocell (kontor och boendemiljö) - signal är från tiotals till några hundratal meter.
- mikrocell (stadsområden med tät bebyggelse) - fokuserad främst på långsamma mottagare (t.ex. en bil i stadstrafik eller fotgängare), täckning från en enda cell är upp till några kilometer.
- makroceller (stora och glest befolkade områden) - främst orienterade gentemot snabba rörliga deltagare (t.ex. fordon på vägarna), täckningsdiameter för makroceller är maximalt några tiotals kilometer.
- satellit-cell (område nås genom telekommunikation satellit) - möjliggör anslutning på otillgängliga platser där de föregående celltyperna inte fungerar. Signalmottagningen är beroende av satelliternas position och bana samt de tekniska parametrarna för den sändande och mottagande anordningen.



Distribution av celler inom mobiltäckta områden



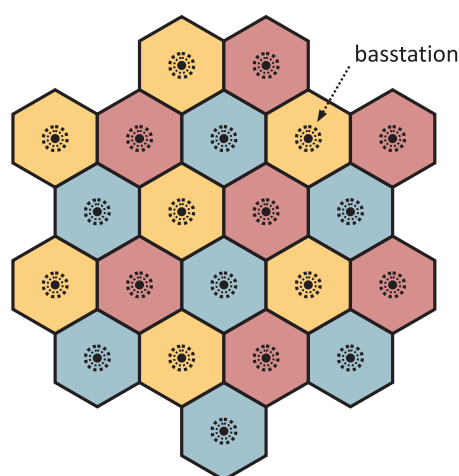
GSM-nätets cellstruktur skapas vanligtvis genom användning av makroceller med en diameter på upp till några kilometer. Exempel på radiotäckning av territorium, grundad på den cellulära principen visas i föregående figur. För cellulärt mobilnätstruktur, är en frekvensplanering nödvändig. Frekvensplan arbetar med tre eller sju frekvenser. Samma frekvenser (f_1 till f_3 , eller f_1 till f_7) kan användas i alla kluster. Området för alla tre eller sju klusterceller är ungefär lika med den genomsnittliga störningszonen.

2.3 Sektoriseringsprincipen

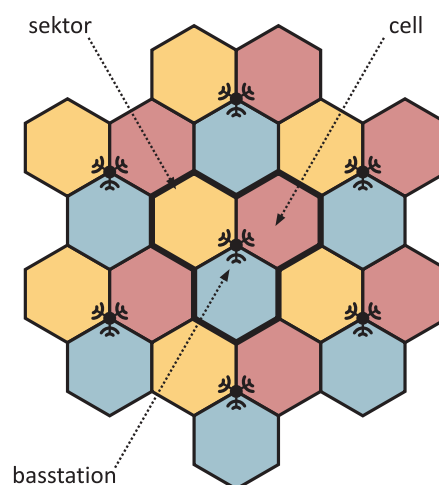
I föregående kapitel har du lärt dig att varje cell i varje mobilnät drivs av en viss basstation. Emellertid, för stora områden som täcks av mobila nät, är detta koncept inte lämpligt, särskilt när det tvingar fram ett stort antal basstationer. Antalet stationer kan dock reduceras avsevärt genom användning av sektoriseringsprincipen.



Låt oss dela upp ett enda kluster i föregående figur i 21 mindre celler (se figur nedan - avsnitt a)). Antalet tillgängliga kanaler är inte så förändrad, men det ökar antalet basstationer till 21. Men vi kan avsevärt minska antalet basstationer med principen om sektorisering till 7. Detta skulle kunna åstadkommas under förutsättning att de enskilda basstationerna inte placeras i centrum av cellerna, men i skärningspunkterna av tre intilliggande celler som bildar en sektor (se figur nedan - avsnitt b)).



a) nät utan sektorisering



b) nät med sektorisering

Principen för sektorisering av mobilnätverk



Tre åtskilda riktningsantennar med tre sändare och mottagare används för var och en av dessa sju stationer. Antalet basstationer i detta fall är densamma som i den föregående figuren (avsnitt b)) med fördelningen av betjäningsområdet i celler, men konfigurationen av nätverket är mer effektiv på grund av driftskaraktistik (t. ex. lägre sändningseffekt och ökat antal mobila stationer som kan vara i drift samtidigt).



Små celler (med intervall från 10 upp till 500 m) används i områden med hög täthet av användarna. I områden med lägre täthet är det tillräckligt att använda

celler med större radie (med intervall från 1 upp till 10 km) och för mycket lätt belastade områden kan celldiameter blir några tiotals kilometer.

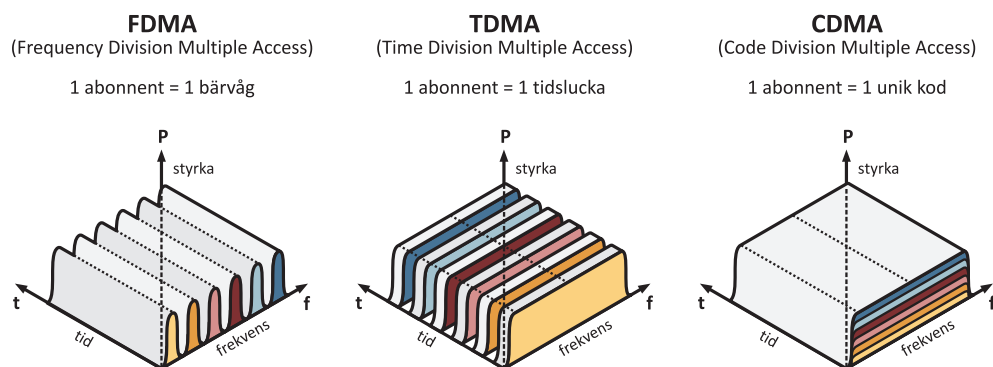
2.4 Åtkomstmetoder



I varje cell måste det säkerställas att förbindelsen mellan en basstation och ett större antal mobila stationer kan etableras och realiseras närsomhelst. För detta ändamål används multiaccessmetoder.

Ett särskilt (fast) frekvensband för ett givet radiosystem kan nås med hjälp av följande metoder:

- FDMA delar det tilldelade frekvensbandet in i underkanalerna och fördelar sedan dessa till varje kommunikationskanal
- TDMA skapar i en särskild frekvensdelkanal sekvensen av tidsluckor för att sedan fördela dessa enskilda tidsluckor till varje kommunikationskanal med hjälp av tidsmultiplex
- CDMA bearbetar datasekvensen i varje ända av den sändande kanalen genom en unik kodningsprocess. Detta kodningsförfarande skiljer sig från kodningsförfarandet i alla andra kanalerna. Således, kan signalerna från varje kanal sändas utan tidsupplösning med hjälp av samma frekvensband. Kommunikationskanalerna särskiljer sig (skiljs åt) från varandra på den mottagande sidan med hjälp av en annan unik kodningsprocess, som används för kodning vid sidan av sändarkanalerna
- OFDMA är en kombination av tid och frekvensdivision multipleaccess. De tillgängliga resurserna är uppdelade i underbärvågor i en frekvensdomän och i flera tidsintervall i tidsdomänen. Då enskilda användare har tilldelats inte bara en eller flera underbärvågor, men också en tidsintervall för kommunikation.



Flera åtkomstmetoder



Ovannämnda åtkomstmetoder mycket ofta kombineras i praktiska tillämpningar (t.ex. FDMA och TDMA).

De tilldelade frekvensbanden kan nås antingen med hjälp av *Time Division Duplex (TDD)* eller *Frequency Division Duplex (FDD)* sättet. I fallet med TDD är

transmissionen i nedlänk (överföring till användaren) och i upplänk (sändning från användare) riktningar separerade i tidsdomänen, men samma frekvens tilldelas i båda sändningsriktningarna. Detta innebär bättre utnyttjande av frekvensen. Å andra sidan är problemet här höga krav på synkronisering. Vid FDD är båda sändningsriktningarna frekvensseparerade (åtskilda), men sändningen/mottagningen är simultant. Den huvudsakliga nackdelen med detta tillvägagångssättet är att två antenner, en för mottagning och en för sändning, måste användas. I de flesta länder används FDD duplex på grund av mindre komplicerad tillämpning.

2.5 Princip för automatisk återanslutning

En mobil station kommunicerar alltid med den närmaste basstationen, närmare bestämt med en station som ger den starkaste signalen för mobila stationen ifråga. Om den mobila stationen förflyttar sig in i en angränsande cell, kopplas den automatiskt över till basstationen i den angränsande cellen.



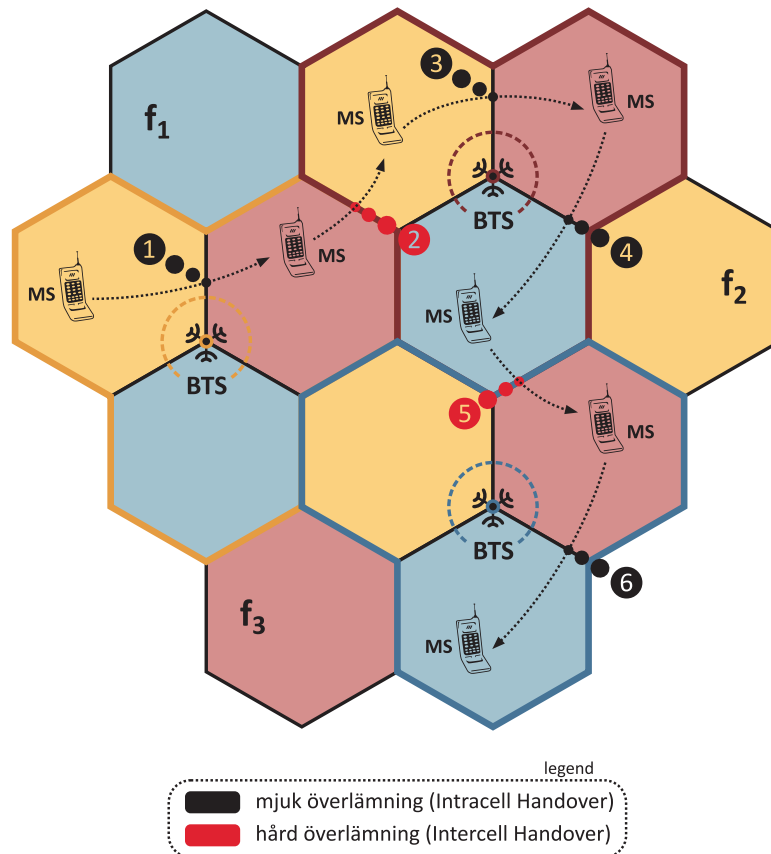
Detta förfarandet kallas en överlämning (handover).

Överlämningen (handover) hanterar en växling från en aktuell tjänstgörande station till en annan station under användarens rörelse över cellgränserna. Det huvudsakliga syftet med överlämningar i mobilnät är att säkerställa kontinuerlig anslutning med hög QoS respektive balansbelastning i nätet.

Spårning av den aktuella positionen av en mobilstation i nätverket möjliggörs av upprättande av kontinuerlig automatisk förbindelse mellan denna och basstationen. Denna angivelse lagras i mobilnätets register som gör det möjligt att dirigera anslutningen (uppkopplingen) av den uppringda parten i det område där mobilstationen för närvarande befinner sig.



På grund av frekvensplanering används alltid kommunikationskanaler med olika frekvenser i angränsande celler. När mobilabonnenten rör sig över gränsen mellan två olika celler är det alltid nödvändigt att ställa om användarens mobilstation.



Principen för överlämning

I princip kan två typer av överlämning urskiljas:

- Hård överlämning - om hård överlämning utförs, stänger MS alla anslutningar till den aktuellt uppkopplade stationen först. Så snart anslutningarna till denna avslutas, öppnas nya förbindelser med målstationen. Denna typ av överlämning är känd som "break-before-make" då en kort avbrott i kommunikation mellan MS och nätet uppstår. Avbrottets längd beror på hanteringen av meddelandeflödet mellan MS och nätverket. Således beror avbrottslängden på flera faktorer; vilken trådlös teknik används (t.ex. LTE eller WiMAX), fysiska lagrets ramlängd ("physical layer frame length") eller belastningen på nätet. I allmänhet varierar varaktigheten av avbrottet från tiotals till hundratals millisekunder i nätverket.
- Mjuk överlämning - möjliggör simultant (samtidig) anslutning av en MS till flera BSS. Följaktligen uppmärksammar användaren inget överlämningsavbrott under kommunikationen. Detta överlämnande är också känt som "make-before-break". Överlämnandet genomförs som en MDHO (Macro Diversity HandOver) eller en FCS (Fast Cell Selection) som också betecknas som en FBSS (Fast Base Station Switching). I MDHO, makrodiversitetskombinering av signaler mottagna från en aktiv uppsättning av flera BS (i WiMAX betecknad som mångfalduppsättning) genomförs. Nackdelen med denna metod är hög komplexitet och komplicerat

genomförande. I fallet med FCS, väljs den bästa ramen samtidigt från alla stationer som ingår i den aktiva uppsättningen och bearbetas. Även om genomförandet är enklare jämfört med MDHO, är det fortfarande i huvudsak mer komplext än i fallet med det hårda överlämnandet. Därför anses hårt överlämnande obligatoriskt i mobilnät medan andra typer av överlämnanden är valfria.

3 GSM Mobile Network – Andra generationens mobilnät

3.1 Basfakta om GSM systemet

För närvarande, är GSM den vida använt digitalt cellulärt system. Detta system byggdes som en öppen standard och dess användning har möjliggjort internationell nätverksväxling (roaming), dvs drift av mobila stationen med ett nationellt telefonnummer i alla länder som antar detta system.



En viktig del av GSM-systemet är ett identifieringssystem baserade på ett unikt abonnentkort benämnt **SIM-kortet** (*Subscriber Identity Module*)



SIM-kortet innehåller inte bara grundläggande identifieringsuppgifter, men också många andra specifika individuella uppgifter, såsom abonnentens identifieringsnummer, autentiseringsnycklar, information om förbetalda teletjänster eller deltagarlistan. Mobil station kan endast användas genom aktivering av detta specifika kort. Undantaget är nödsamtal som kan utföras utan SIM-kort. Kodning och kryptering av överförd information, som avsevärt försvårar möjligheten till avlyssning är andra viktiga aspekten ur ett användarperspektiv.

Kontaktförfarandet börjar i det ögonblick då uppringningen börjar sända första signaldata. En av de viktigaste initiala processerna är att styra tillträdeberättigande för respektive mobila stationen till nätet.



MS sänder sitt **IMSI identifieringsnummer** (*International Mobile Subscriber Identity*) genom **BS** och **BSC** (*Base Station Controller*) till **MSC** (*Mobile Switching Centre*). Blocket **AUC** (*Authentication Centre*) sänder mot MS slumpstal som omvandlas utifrån individuella uppgifter och SIM-kortets algoritmer till ett annat nummer som som originalsvar skickas tillbaka till MSC växel. Därefter jämförs individuella data med data i databasen som ligger i VLR-blocket. Om det finns en överensstämmelse mellan dessa får den mobila stationen tillträde till det mobila nätet.



För att säkerställa anonymitet kommunicerar abonnentstationen med hjälp av tilldelat preliminärt identifikationsnummer, kallat **TMSI** (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), med vars hjälp MS identifieras i MSC. När mobilstationen växlar till en annan MSC, är den åter programmerad med ett nytt TMSI. Överföring av användardata kan starta endast när dessa processer är avklarade.

3.2 GSM-systemet och dess normer

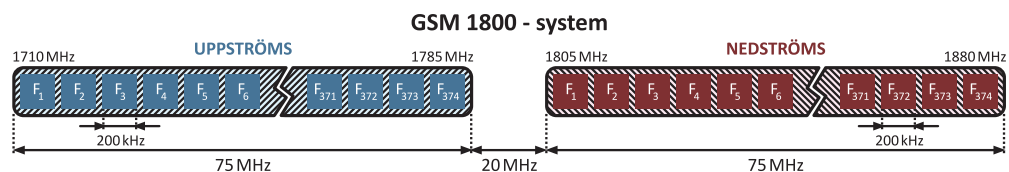
Basgenomförande ligger på /Grundläggande aktiviteten/Basaktiviteten för GSM genomförs/ är förlagd på/är hänvisad till 900 MHz-bandet för GSM. Ökning av trafiken har dock lett till utvecklingen av andra versioner med flera frekvensband. Således finns det tre standarder som skiljer sig främst vad gäller använt frekvensområde och/eller antalet tilldelade kanaler:

- GSM 900 – frekvensbandet 900 MHz, maximal kapacitet 2×124 kanaler, bandbredd 2×25 MHz
- GSM 1800 – frekvensbandet 1800 MHz, maximal kapacitet 2×374 kanaler, bandbredd 2×75 MHz
- GSM 1900 – frekvensbandet 1900 MHz, maximal kapacitet 2×298 kanaler, bandbredd 2×75 MHz



De senare versionerna av GSM-systemet, GSM 1800 och GSM 1900 kallas ibland **DCS** (*Digital Communication System* eller *Digital Cellular System*) system.

Fördelning av frekvensbanden som används av GSM 1800 på den europeiska kontinenten visas i följande bild.



Frekvensbanden som används av GSM 1800 system och deras separation

GSM 1800-systemet innehåller inte några större tekniska innovationer, men det ökar möjligheten att nå andra abonnenter, särskilt i städerna. Systemet tillåter skapandet av antingen fristående nätverk eller nätverk som samarbetar med den ursprungliga GSM 900. Vanligtvis finns det kombinationer med GSM 900 makroceller och GSM 1800 mikroceller, vars syfte är att tillhandahålla tjänsterna i områden med hög koncentration av användare (t.ex. i köpcentrum eller i city). Emellertid måste tvåvägs (dual mode) MS användas för att kunna nyttja båda frekvenserna.

3.3 Tjänster och program

GSM-systemet gör det möjligt att tillhandahålla teletjänster (Teleservices) och överföringstjänster (Bearer Services).

Teletjänsterna kan delas in i:

- telefoni (inklusive nödsamtal och genom nätverksväxling även telefoni i alla andra nät)
- meddelandetjänster såsom **SMS** (*Short Message Services*) med möjlighet att sända högst 160 tecken mellan två punkter i båda riktningarna eller med möjlighet att skicka meddelandet till alla mobila stationer i cellen med hjälp av **CBS** (*Cell Broadcast Service*) som t.ex trafik-eller väderrapporter
- röstbrevlåda
- e-post (en tjänst ihopkopplad med Internets elektroniska post)
- banktjänster
- informationstjänster m.m.

I överföringstjänster kan också ingå:

- duplex asynkron dataöverföring med överföringshastigheter från 300 till 9 600 bps
- duplex synkron dataöverföring med överföringshastigheter på mellan 2400 och 9 600 bps

GSM-tjänster utökas kontinuerligt och listan över erbjudna tjänster beror på nätoperatör (leverantör). För närvarande inkluderar dessa ökad överföring på upp till 14,4 kbps, respektive med byte av kodningen upp till 21,4 kbps.

Det finns också en mängd olika tjänster för att öka deltagarens komfort. Till exempel ger införandet av redovisningstjänster (Hot Billing) användning för förbetalda kort med en efterföljande serviceavgift, vilket skapar en grupp anonyma användare som inte betalar en fast månadsavgift.

3.4 GSM-näts uppbyggnad

Hela GSM-systemets grundstruktur visas i figuren nedan. Den grundläggande strukturen i GSM-systemet kan delas in i tre fundamentala delar: Base Station Subsystem, Networks Switching Subsystem, and Operation Support Subsystem.

Base Station Subsystem (BSS)

MS (mobil station) kommunicerar med BS. Flera BSS tilldelas en BSC, vars huvudsakliga uppgift är att fördela och släppa fria radiokanaler för kommunikation med MS och säkerställa en korrekt överlämning. Driften av systemet kräver att varje MS, som är i bruk, tillhandahåller information till systemet om sitt läge, alltså om den cell mot vilken den är upplöplad. MS övervakar också signaler från närmaste basstationer och väljer alltid de optimala BTS, genom vilken anslutningen etableras.

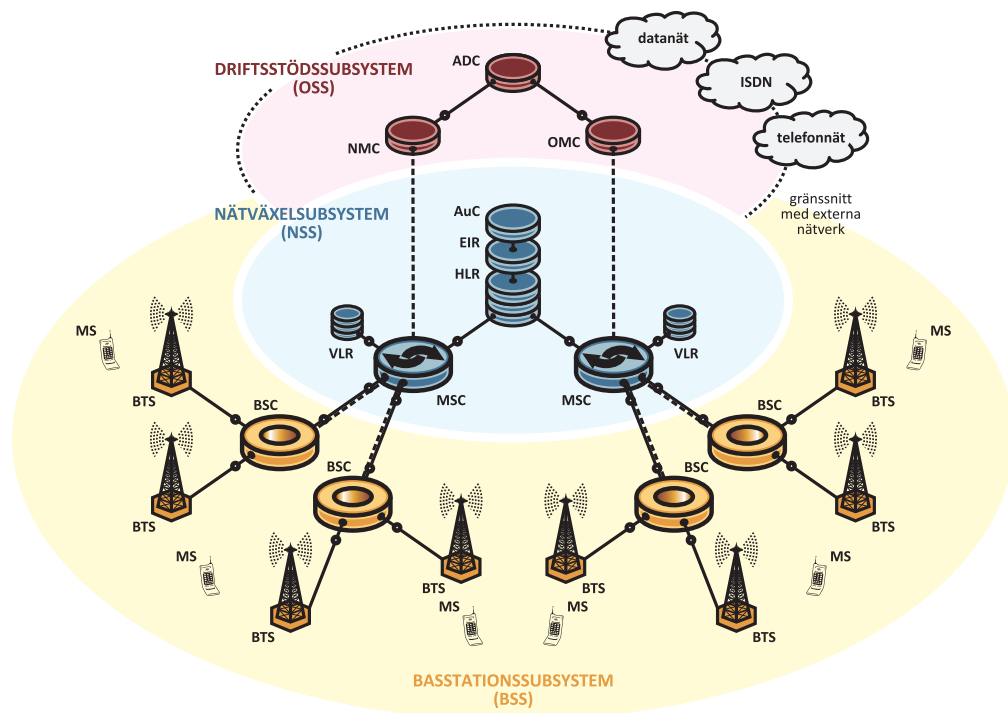
Network Switching Subsystem (NSS)

Detta delsystem omfattar särskilt MSC uppkoppling, som genomförs av en vanlig typ av telefonväxel kompletterad med ytterligare funktioner p.g.a MS rörlighet. Dessa funktioner lagras i olika databaser som omfattar:

- **HLR** (*Home Location Register*) - håller reda på alla deltagare i området. Autentisering (identifiering) av abonnenter görs av AuC. Varje nätverksdeltagare lagras i en enda HLR.
- **VLR** (*Visitor Location Register*) - lagrar temporärt den senaste informationen om positionen för MS i området täckt av MSC. VLR begär och får data från HLR. Om MS lämnar det besökta området raderas dessa data bort från VLR.
- **EIR** (*Equipment Identity Register*) - lagrar information om MS (till exempel lista över auktoriserade stationer eller stulna stationer etc.)

Operation Support Subsystem (OSS)

OSS är ansvarig för drift av BSS och NSS. Det innehåller ett övervakande block, **ADC** (*Administrative Centre*), som tar itu med administrativa uppgifter (t.ex. rapporterar deltagaravgifter, fakturering, etc.), **NMC** (*Network Management Centre*) block som sysslar med övergripande förvaltning av informationsflödet i nätverket samt operativt block **OMC** (*Operation and Maintenance Centre*) som tar hand om underhåll och drift av nätet.



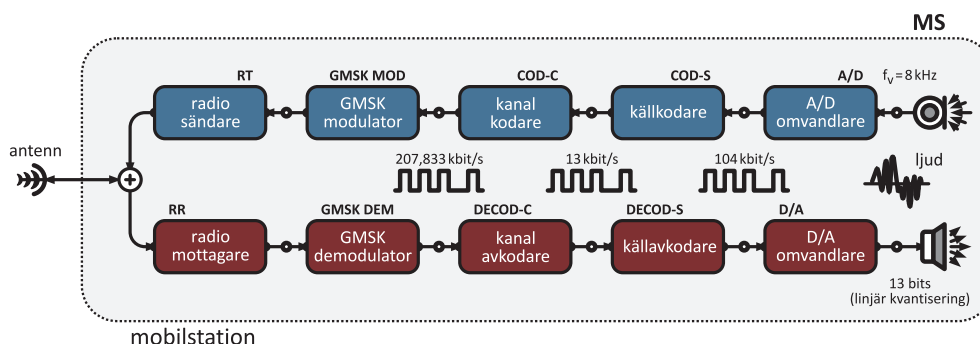
Uppbyggnad av GSM system

3.5 Mobilstationens struktur och funktionalitet

I de följande två kapitlen kommer struktur och operativa principer för MS (mobil station) samt dess koppling till basstationen att beskrivas.



MS (mobil stationen) består av sändande och mottagande delar, mikroprocessor, SIM-kort och andra tillbehör (luren, tangentbord, bildskärm etc.).



Blockschema av mobilstationen

Den analoga röstsignalen digitaliseras av A/D-omvandlare, som fungerar enligt principen PCM (8 kHz samplingsfrekvens, sampel med 13 bitar, linjär kvantisering, signalöverföring hastighet $V_p = 8000 \times 13 = 104 \text{ kbit / s}$). Nästa block, **COD-S** (*CODer of Sources*), utför talsyntes med hjälp av ”vocoder”-principen, även även källkodning, som utförs av excitationemetoden, **RPE** (*Regular Pulse Excitation*), vilket minskar överföringshastigheten till ett värde $r_d = 13 \text{ kbit / s}$.

I block **COD-C** (*Coder i Channel*) genomförs *kanalkodning*. Denna process säkerställer att risk för uppkomna fel minskar i tal och skyddar digitala signaler mot fel med ursprung i överföringen. Utöver finns interfoliering, vars syfte är att öka signalens robusthet mot skurar av fel. På den mottagande sidan inverteras signalen genom interfolierade intervall reglering som omvandlar den till den ursprungliga sekvensen. Om flera på varandra följande bitar med fel (skurfel) tagits emot kan dessa repareras med hjälp av användbara säkerhets processer.

Dessutom är den del av signalen, som innehåller användarinformation, utsatt för krypteringsprocessen för att förhindra direkt övervakning av kommunikationerna. Efter alla dessa modifieringar är överföringshastighet i en radiokanal $v_p = 22,8 \text{ kbit / s}$.

Efteråt är den följande sekvensen av integrerad signal i **TDMA**-ram bearbetad i **GMSK-MOD** (*Gaussian Minimum Shift Keying MODulator*) och den totala överföringshastigheten är då $v_p = 270.833 \text{ kbit / s}$ (physical layer frames med längd av 156,25 bitar sänds varje 0.577 ms).

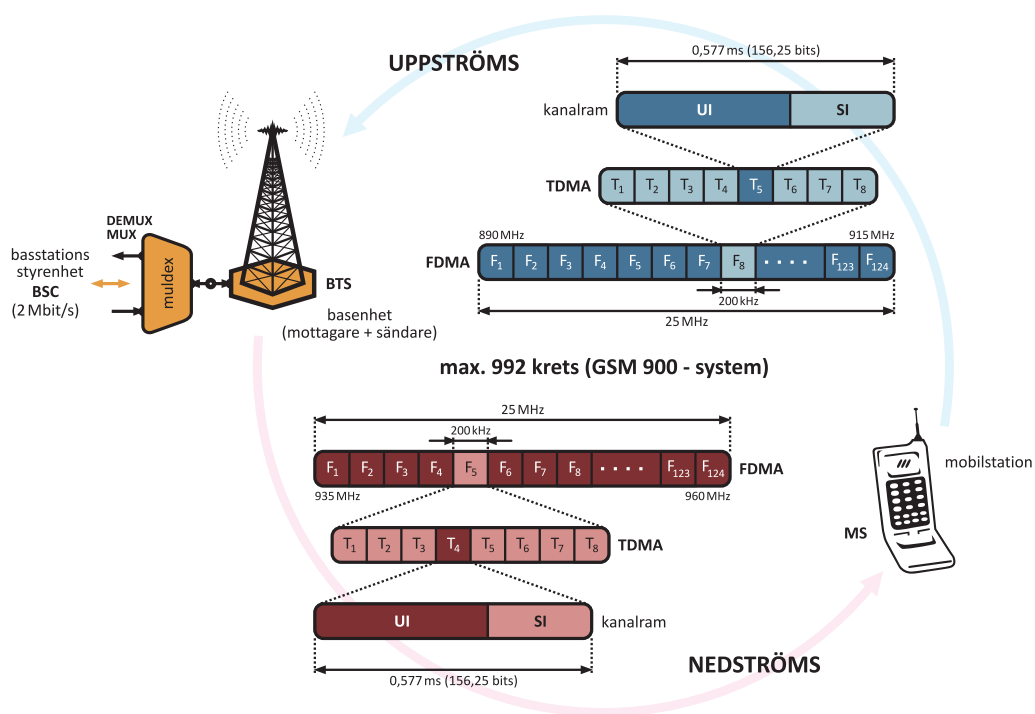
Efter behandling i *Radio Transmitter (RT)* kretsar är signalen ivägsänd med hjälp av MS:s antenn. När det gäller sändningseffekt är MS uppdelade i fem klasser, från 0,1 till 20 W.

Den signal som sänds från antennen till *Radio Receiver (RR)* blocket, bearbetas ytterligare i demodulatorn (**DEM**) och av båda avkodare (**DECODing-C**, **DECODing-S**). D/A-omvandlaren omvandlar sedan den digitala signalen till en analog signal. Slutligen överförs den analoga signalen till handenheten.

3.6 Mobil terminal och dess koppling till basstationen



Två frekvensband med en bredd av 25 MHz, med separation av 45 MHz är reserverade för överföring av signaler i GSM 900. Signal i riktningen från BTS till MS sänds i frekvensbandet från 935 MHz upp till 960 MHz. I motsatt riktning förs sedan i frekvensbandet från 890 MHz upp till 915 MHz. Anslutningen av radiokretsen mellan MS och BTS är baserad på en kombination av **FDMA** och **TDMA** access metoder. I båda frekvensbanden är bandet uppdelat i 124 delband av FDMA (F1 till F124) med en nominell bredd av 200 kHz. I varje frekvens delband är radioresurserna uppdelade i upp till 8 tidsluckor (T1 till T8) genom att använda TDMA.



Principblockschemat av MS baserad på standarden GSM 900 och dess relation till BTS



Varje kanals ram (burst) med en längd av 156,25 bitar och varaktighet 0,577 ms innehåller bitar med användarinformation (UI) och serviceinformation (SI). Detta innebär att BTS kan erbjuda en total kapacitet på upp till $124 \times 8 = 992$ par av användbara kanaler, det betyder, 992 radiokretsar.



Synkronisering härleds i GSM från klockgeneratoren med nominell frekvens $f_t = 13 \text{ MHz}$. Den grundläggande överföringshastigheten är $v_p = 13\,000\,000/48 = 270\,833,33 \text{ bit/s}$. En TDMA-ram (med 8 tidsluckor) har en varaktighet lika med 4,615 ms (multi-ram består av 26 ramar och dess varaktighet är lika 120 ms).

3.7 Dataöverföring i GSM-nätverk och 2,5 generationens mobila system

Grundläggande överföringshastighet mellan en MS och ett GSM-nät är 13,2 kbps för röstsamtal i båda riktningarna. Denna kanal kan användas inte bara för att överföra samtal utan även för dataöverföring baserad på kretsväxling, **CSD** (*Circuit Switched Data*), med nominell överföringshastighet på 9,6 kbps. Senare har överföringshastigheten ökats till 14,4 kbps, främst genom att minska överflödigt information i form av skyddande koder.

Dock betydande ökning av överföringshastigheter säkerställs genom de system som hör till 2,5 generationen, antingen genom att använda:

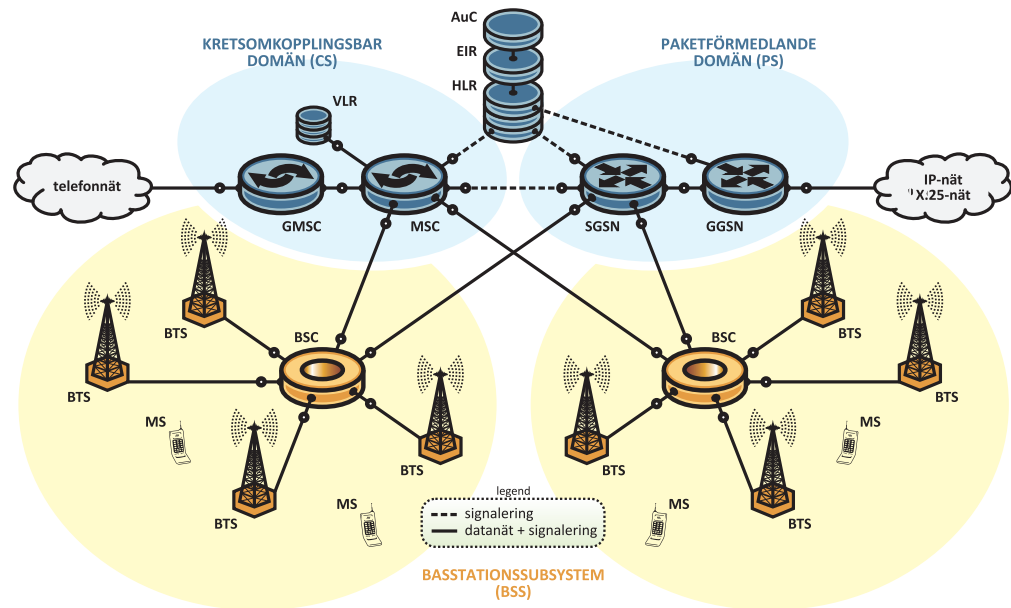
- överföring baserad på paketväxling, känd som **GPRS** (*General Packet Radio Service*), med den teoretiska tillgängliga bithastighet upp till 171 kbps eller
- överföring baserad på kretsväxling, känd som **HSCSD** (*High Speed Circuit Switched Data*), med den teoretiska tillgängliga bithastighet upp till 115 kbps



En ytterligare ökning av överföringshastigheter är möjlig genom användning av teknik betecknad som **EDGE** (*Enhanced Data for GSM Evolution*). Jämfört med konventionell modulering i GSM-systemet, använder denna modulering ett större antal tillstånd, nämligen **8-PSK** (*Phase Shift Keying*). Teoretisk uppnåelig bithastighet för dataöverföring med EDGE är 473,6 kbps.



Infrastruktur av GSM-nätet med 2,5 G-system kompletteras med en dataknutpunkt (datanod), **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*), som kommunicerar med radiodelen i GPRS-nät. För dataöverföringen till andra paktnät, såsom Internet, är en data-gateway **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*) involverad. GGSN fungerar som en router (nätverksväxlare). Förenklad infrastruktur över 2.5G mobilnät kan ses i nedanstående figur.



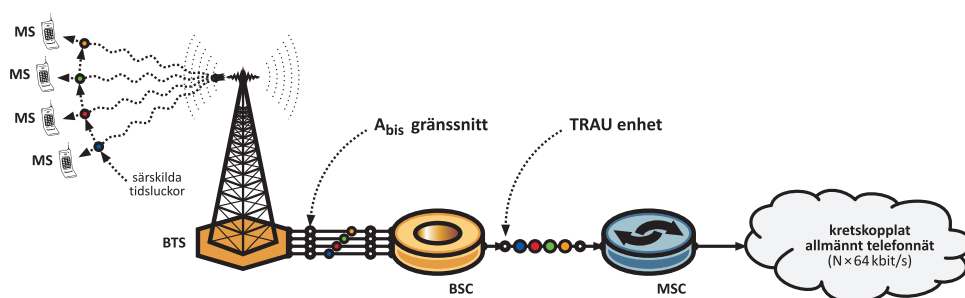
Förenklad infrastruktur över 2.5G mobilnät

3.8 CSD dataöverföring i GSM-nätverk

Digitala mobilnät som GSM har i första hand utvecklats för överföring av mänsklig röst. Dock överförs även den mänskliga rösten i digital form. Detta gör det relativt enkelt att överföra allmänna data i stället för mänsklig röst. Det finns dock vissa begränsningar, huvudsakligen kopplade till de maximalt uppnåeliga bithastigheter.



En ensam GSM-radiokanal har en maximal överföringshastighet på 33,8 kbps. Ändå är den högsta tillgängliga överföringshastigheten av data endast 9,6 kbps. Detta för att 11 kbps används som service kanalkapaciteten och är utformat så för att säkerställa funktionaliteten hos GSM-nätet. Den återstående kapacitet av 13,2 kbps används för att säkerställa tillförlitligheten i överföring samt åtgärdande av fel och misslyckanden. Denna princip vad gäller dataöverföringen kallas CSD.



CSD:s dataöverföring



Efter en tid av framgångsrika tester drog man slutsatsen att överföringar av uppgifter inte alltid kräver robusta skyddsmekanismer och att det är möjligt att öka den tillgängliga dataöverföringshastigheten. Därför har dataöverföringshastigheten ökat till 14,4 kbp, förenad med vilkor av goda tillgängligheten till signaler med hög kvalitet.

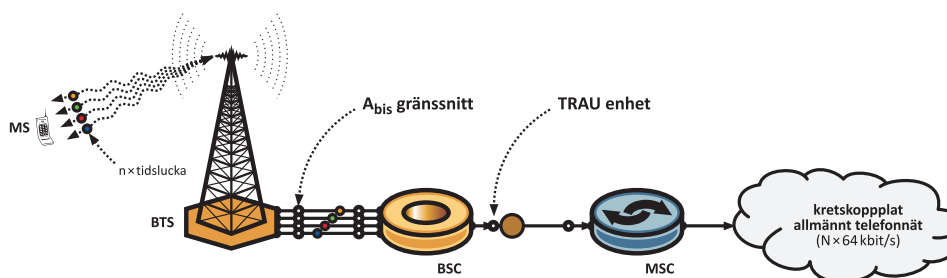
Ökningen av tillförlitligheten i dataöverföringen genom att tillföra bitar till de överförda data är inte det enda alternativet. Det är möjligt att använda lösningar baserade på återkoppling mellan avsändaren och mottagaren. Om mottagaren känner igen skadade data, sänder avsändaren data på nytt efter begäran om omsändning. Denna process kräver att båda sidorna är överens om förfarandet, och därför är det nödvändigt att fastställa ett protokoll. Detta protokoll kallas **RLP** (*Radio Link Protocol*).

3.9 HSCSD dataöverföring i GSM-nätverk

Som det konstaterades i föregående kapitel, den högsta tillgängliga dataöverföringshastigheten som kan användas inom en tidslucka är 14,4 kbps.



Det enda sättet att ytterligare öka bithastighet i ett befintligt GSM-nät är att samtidigt använda flera tidsintervall för en användare. Detta sättet för dataöverföring förkortas till HSCSD. Det bygger fortfarande på principen om CSD men jämfört med konventionell CSD levererar den betydande ökning i överföringshastigheten.



Dataöverföring via HSCSD



Såsom det visas i den föregående figuren, utförs kommunikation mellan MS och BS genom en tillhörande grupp av tidsluckor för att sedan överföras till MS. Fördelningen av tidsluckor beror på det aktuella antalet tillgängliga radiokanaler och på kapaciteten hos MS själv. Dessa data överförs av BS och BSC (Abis-gränssnitt) över kanaler med en bithastighet på 16 kbps. Totalt 32 kanaler med överföringshastigheten 64 kbit/s (dvs 2 Mbps totalt) är tillgängliga för kommunikation mellan BS och BSC. Var och en av dessa kanaler är vidare uppdelad i fyra delkanaler med överföringshastighet på 16 kbps.



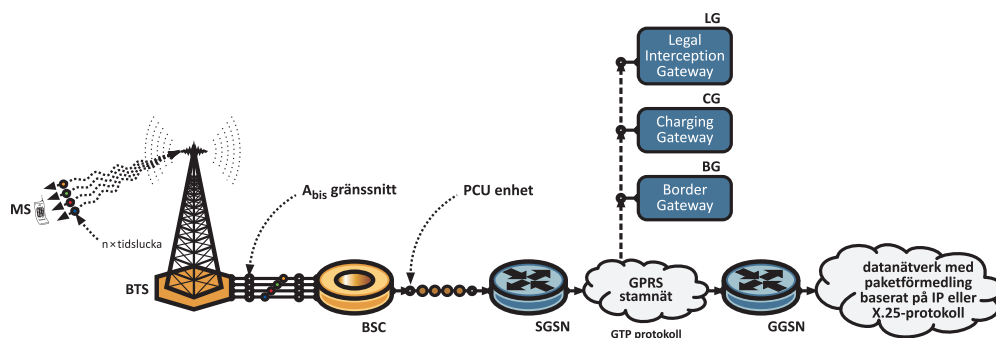
Kanalen med överföringshastighet av 16 kbps kan användas för att överföra röster (13 kbps) eller gemensamma data (14,4 kbps). Data är sekventiellt sammanfogade till en standardiserad kanal (64 kbps), vilket görs i BSC av **TRAU** (*Transcoder och hastighetsanpassning Unit*) enhet. Denna enhet är konstruerad för att omvandla kodad röst (med hastighet på 13 kbps) till en vanlig röst i PCM-kanal (hastighet 64 kbps) eller ändra dataöverföringshastigheten till 64 kbps. Därmed även den maximala överföringshastigheten per kanal, som kan uppnås med användning av denna teknik, är 64 kbps.

Överföring, som utförs på detta sätt, kan i de flesta fall vara asymmetriska. Detta innebär, exempelvis, att i riktning från en MS till nätet kan MS tilldelas tre tidsintervall och i en omvänd riktning (sändning) endast ett intervall kan fås. Denna metod för kapacitetstilldelning för radiokanal används mycket ofta och är lämpligt exempelvis för anslutning till Internet, där data överförs i huvudsak från

nätverket till användaren. Den standard som definierar läget (tillståndet) för HSCSD delar de tillgängliga positionerna upp till 18 klasser beroende på hur många kanaler som kan användas i båda riktningarna.

3.10 GPRS-dataöverföring i GSM-nätverket

För att öka överföringshastigheten i det ursprungliga GSM-nätet, vilket endast är kretsorienterat, behövdes paketorienterade överföringstillstånd införas. För detta ändamål var det nödvändigt att komplettera det ursprungliga nätverket genom ny utrustning som visas i bilden nedan. Denna nya nätstruktur möjliggör paketorienterad överföring kallad GPRS.



Dataöverföring via GPRS

Dataknutpunkt (datanod), SGSN kommunicerar med radiodelen i GPRS-nät. För dataöverföringen till andra paktnät, såsom Internet, används GGSN data gateway. Denna enhet fungerar som en router (nätverksväxlare). Tillträde för användare i definierade nätverk är tillåtet genom **APN** (*Access Point Name*). På detta sätt kan operatören aktivera åtkomst till viss APN med hjälp av definierad uppsättning av SIM-kort och därmed skapa ett GPRS-nätverk för privat grupp av användare, vars trafik är strikt åtskild från övrig trafik. Beskrivningen ovan visar hur offentliga eller privata datanät kan skapas. Överföring av data via APN kan också vara ett annat sätt hur man bestämmer priset för individuell leverantörsservice, t.ex. **WAP** (*Wireless Application Protocol*) eller **MMS** (*Multimedia Messaging Service*).



Uppkoppling till Internet är möjlig genom WAP som med hjälp av lågkapacitetskanaler och displayer med begränsad upplösning gör innehållet i webbplatser samt informationstjänster tillgängliga för MS. Användningen av datakommunikation samt WAP tillåter utnyttjande av GPRS (paketorienterad överföring) och ökning av överföringshastigheter teoretiskt upp till 192 kbps. Emellertid kräver genomförandet av denna tjänst mycket mer omfattande och kostsamma investeringar inte bara i strukturen av GSM-nätet, men också i MSs (mobil stationer).



Inom GSM-nätet med GPRS är samarbete mellan SGSN och BSC redan genomfört. Detta innebär en effektiv fördelning av överföringsresurser, vilket i sin tur innebär att överföringsresurser delas (allokeras) till MS endast om den har data att sända eller ta emot.

+

Det finns inte permanent blockerade överföringsvägar till skillnad från konventionella dataöverföringen i GSM-nätverk med HSCSD .

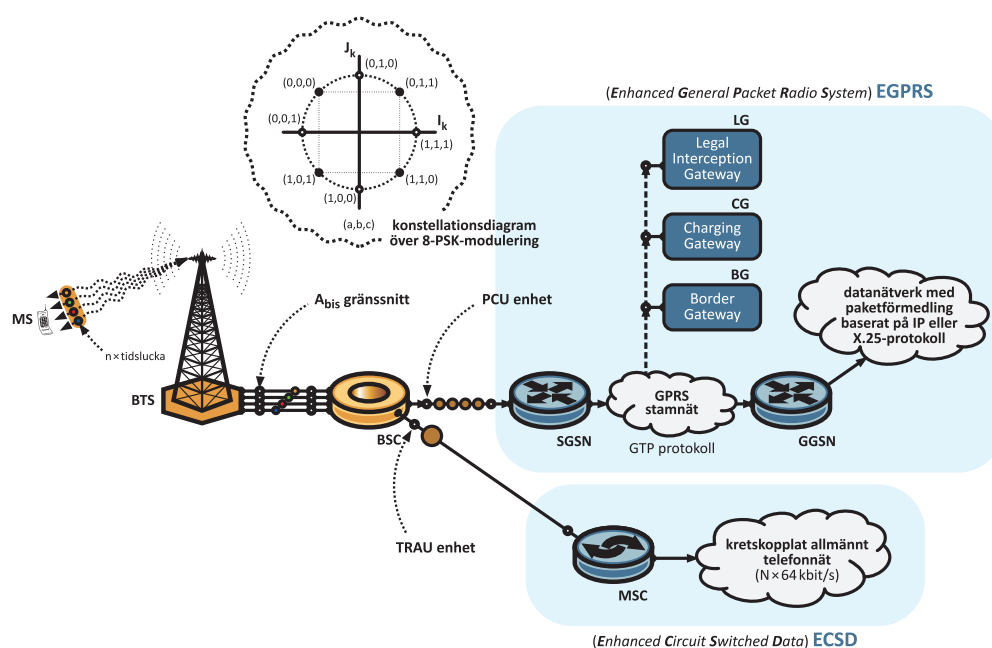
Högre överföringshastigheter i GPRS är aktiverade genom en koppling (anslutning) av flerta tidluckor för användare samt genom att välja en lämplig kodning för denna kanal. I detta sammanhang hänvisar vi till transmission med en kombination av 3 +1, 4 +1 eller 4 +2 tidluckor (representerar nedlänk + upplänk). Om asymmetrisk dataöverföring används i GPRS, har riktningen (flödet) till abonnenten (nedlänk) alltid en högre överföringshastighet. De tillgängliga överföringshastigheterna är starkt beroende av (den specifika) platsen och BS belastning.

—

En negativ fördröjningseffekt kan observeras i GSM-nät med GPRS. Den orsakas av datapaket som passerar genom paketerorienterade nät. Fördröjningen är starkt beroende av längden på paket. Korta paket (upp till 100 byte) har sändningsfördröjningen från 0,5 till 1 sekund beroende på belastningen på nätet. Datapaketer med längd av 1 kB kan fördröjas upp till flera sekunder.

3.11 EDGE dataöverföring i GSM-nätverk

Dataöverföringsteknik 2,75G i mobila nätverk, betecknas **EDGE** (*Enhanced Data Rates för GSM Evolution*). EDGE ökar nätkapaciteten och tillgängliga överföringshastigheter tillsammans med HSCSD och GPRS teknik. Förbättringen av dataöverföring med hjälp av potentiell kodning eller genom användning av fler tidsluckor är inte längre ett alternativ. Den enda möjliga metoden för ytterligare ökning av genomströmningen uppnås genom användning av mer effektiv modulerings teknik. I stället för den ursprungliga **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*)-modulering, använder EDGE åtta modulationsfasnivåer, **8-PSK** (*Phase Shift Keying*),



Dataöverföring via EDGE



Symbolenhastigheten i en frekvenskanal med en bredd av 200 kHz är densamma som tidigare, dvs 270,833 ksymbols/s. Men genom att utnyttja åtta moduleringsnivåer är bithastigheten nu tre gånger högre jämfört med den ursprungliga binära moduleringen. Den maximala teoretiska överföringshastigheten är 473,6 kbps (59,2 kbps per tidslucka). Denna är dock endast tillgänglig om alla 8 platser används och villkoren för signalutbredning är goda.

Användningen av denna teknik kräver införande av en ny typ av sändtagare (transceiver) till nätverket. Denna förändring måste tillämpas i varje cell, där ny teknik ska användas. Nästa steg är en justering som syftar främst till att uppdatera egen programvara. Kombination av EDGE-teknik tillsammans med GPRS och HSCSD-teknik verkar vara mycket praktisk, särskilt för omfattande överföringar då den nya principmoduleringsmetoden medför betydande ökningsar av

dataöverföring. Vid normal användning uppstår principer som kallas **ECSD** (*Enhanced Circuit Switched Data*) och **EGPRS** (*Enhanced General Packet Radio System*). EDGE anses allmänt som ett sista steg i förbättring av det ursprungliga GSM-systemet före införandet av den tredje generationen kallas UMTS.

4 Universell Mobil Telekommunikation System (UMTS)

4.1 Inledning

Den andra generationen av telekommunikationssystem, såsom GSM, gör det enkelt att överföra rösttrafik i trådlös miljö. Trots detta är 2G-nätet oförmöget att uppfylla den ständigt ökade efterfrågan driven av den snabba utvecklingen av mobila applikationer som kräver hög dataöverföring (video på beställning, nedladdning av bilder med hög kvalitet, etc.). För att möta dessa krav har nästa generation av mobila nätverk, så kallade 3G utvecklats (kommit till).

I syftet att skapa den globala 3G-mobilradiostandarden hade tredje generationens partnerskaps- projekt (Third Generation Partnership Project (3GPP) grundats i december 1998. 3GPP består av medlemmar av standardiseringsorganen från hela världen såsom Europa (ETSI), USA (ANSI) och Japan (ARIB). 3GPP har arbetat med en gemensam 3G radiostandard som vanligtvis kallas UMTS. Ändå är 3G-standarderna inte baserade på en viss teknik eller norm utan de bygger på tekniska specifikationer som successivt har godkänts för att förbättra tidigare UMTS i syfte att tillgodose ökade högre krav.

I nästa kapitel kommer vi mer i detalj beskriva frekvenstilldelning, grundläggande överföringsprinciper och **WCDMA** (*Wideband Code Division Multiple Access*) åtkomstmetod som antogs i UMTS. Dessutom berörs utveckling av 3G-tekniken med särskilt fokus på snabb dataåtkomst. Vi kommer också att beskriva de tjänster och tillämpningar som används i 3G-nätet tillsammans med **QoS** (*Quality of Service*) klassificeringar.

4.2 UMTS frekvensallokering

Det operativa frekvensbandet UMTS-systemet är inställt på är ca 2 GHz. Denna inställning ger rimliga transmissionsegenskaper, låg signaldämpning och enkel signalpenetration i inomhusmiljö. De tilldelade frekvensbanden är beroende av om UMTS fungerar i så kallade *Time Division Duplex (TDD)* eller i *Frequency Division Duplex (FDD)*.

UMTS kan användas för drift med ett minimumspektrum av 2 x 5 MHz för parade frekvensband tilldelade för UMTS FDD och 5 MHz för oparade fastafrekvensband för UMTS-TDD. De tilldelade frekvensbanden är något annorlunda för Europa och USA. I Europa har UMTS TDD tilldelats frekvensband i området 1900-1920 MHz för upplänk och regionen 2010-2025 MHz för nedlänk. UMTS FDD har fått mycket större bredband på grund av att FDD är tänkt att hellre användas. När det gäller upplänkriktningen har frekvensband i regionen 1920-1980 MHz tilldelats. Och frekvensband mellan 2110-2170 MHz har tilldelats för nedlänk.



Anledningen till att upplänkfrekvensband finns på lägre frekvens än nedlänk beror på begränsad styrka och batteribegränsningar i mobila terminaler. De lägre frekvensbanden kännetecknas av lägre signaldämpning. Följaktligen kan upplänkstäckningen garanteras medan sändningseffekten för mobila terminaler fortsätter att ha rimlig styrka. Observera att maximal sändningseffekt för basstationen vanligtvis är 43-46 dBm, medan sändningseffekten för mobilterminalen vanligtvis är upp till 23 dBm.

4.3 WCDMA

Eftersom TDMA:s och FDMA:s tillgång till luftgränssnitt (air interface) som användes i tidigare 2G-nät inte har varit tillräckliga för 3G-nät, antog UMTS mer sofistikerad tillgång baserad på CDMA, (beskrivs i kapitel 7). För att vara mer specifik, används WCDMA-teknik i UMTS-nät. I WCDMA sprids användarinformationsbitar över en mycket bredare bandbredd än i konventionella CDMA-fallet. På detta sättet ökar kapaciteten och databithastigheter för enskilda användare i systemet. På samma sätt som i fallet med CDMA, multipliceras användardata med kvasi-slumpmässiga bitar, kallade chips, härledda från CDMA spridningskoder. UMTS använder chiphastigheten av 3,84 Mcps (Mega chip per sekund) och transportbandbredd är lika med 5 MHz. Den andra framstående egenskap hos WCDMA system är frekvens återanvändningfaktorn 1. Detta betyder, att frekvensen som används i alla celler är samma (i motsats till GSM, där varje cell använder individuella frekvenser för att minimera interferens). Sålunda, utnyttjas radioresurserna bättre.

Användningen av WCDMA ger/medför flera viktiga funktioner i UMTS-standarderna:

- Rake-mottagare - Radiokanal utbredning i mobilnät kännetecknas av flera reflekteringar (återkastningar), böjning och dämpning av signalenergin (styrkan) som orsakas av hinder såsom byggnader, kullar, vegetation, etc. Detta resulterar i så kallad flervägsutbredning och fading (stark signaldämpning vid vissa frekvenser). WCDMA-system bekämpar dessa negativa effekter genom rake-mottagare, vilken effektivt kan ta emot och kombinera individuella signalkomponent.
- Strömkontroll - En av de viktigaste aspekterna när det gäller WCDMA är snabb sluten slinga på upplänken i synnerhet. Annars kan en användare blockera en hel cell om han sänder med hög strömeffekt. Följaktligen i WCDMA-baserade system, bör strömeffekten vara samma för alla användare vid basstationen. Notera att vid HSPA som förklaras senare är detta bara delvis sant.
- Mjukt överlämnande - Eftersom de intilliggande celler använder samma frekvens, kan användarna vara samtidigt anslutna till två basstationer (två olika koder måste användas) på samma gång. Detta resulterar i handover (överlämnande) mellan två celler utan avbrott, även känd som mjuk överlämning som redan beskrivits tidigare.

4.4 Standardisering och UMTS evolution

Utvecklingen av 3G-nät inleddes 1999 genom lanseringen av den allra första UMTS-versionen kallad Release 99. Sedan dess har flera lanseringar godkänts såsom beskrivs i texten nedan.

Release 99

Den här versionen är baserad på GSM-nät, där UMTS är bakåtkompatibel med GSM och samverkan mellan dessa två är möjlig. I jämförelse med 2G-nät, ger Release 99 en hel ny typ av radioåtkomstnät, känd som **UTRAN** (*UMTS Universal Radio Access Networks*). De teoretiska databithastigheter som uppnås genom denna utgåva är 2 Mbps i nedlänk och 384 kbps i upplänk.

Release 4

Utgåvan som godkändes 2001 introducerade flera stora förändringar i kärnnätet och GERAN. Huvuddragen är separationen av transportbärare och kontrollbärare i **CS-** (*Core Switched*) nätverk, introduktion av nya gränssnitt i CS-nätverk, vilket möjliggör låga chiphastigheter samt framför allt, införande av **IMS** (*IP Multimedia Subsystem*).

Release 5

Den huvudsakliga förbättringen i Utgåvan 5 jämfört med tidigare utsläpp ligger i införandet av **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*). HSDPA ökar bithastigheter i nedlänkriktningen upp till cirka 14 Mbps.

Release 6

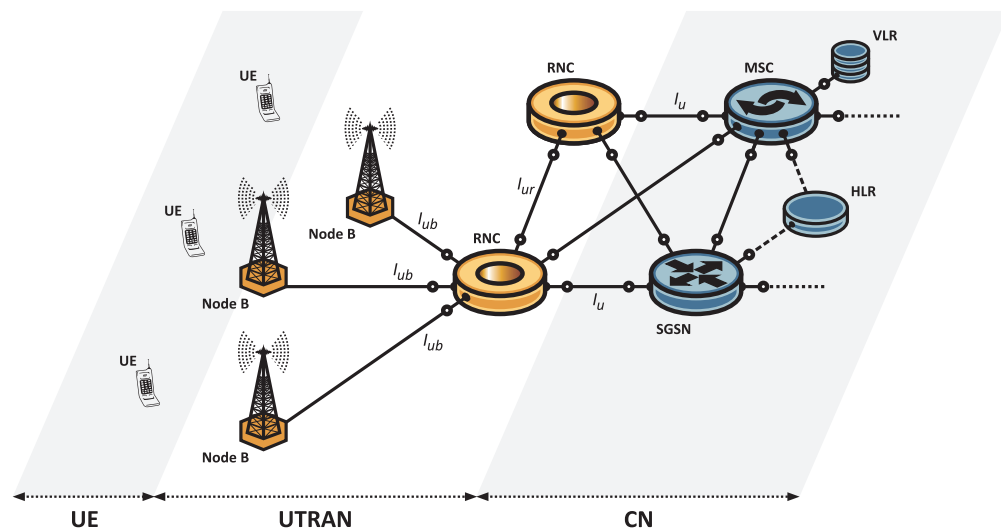
På samma sätt som tidigare utgåvor, ger Utgåvan 6 betydande förbättring i dataöverföring specificerad av **HSUPA** (*High Speed Uplink Packet Access*). HSUPA ger bithastigheter i upplänk riktning upp till 5,76 Mbps. Dessutom har betydande arbete genomförts vad gäller IMS delsystem.

Release 7

I den här versionen har HSPA +, även kallade Evolved High Speed Packet Access, införts. Denna ökar ytterligare uppnåeliga bithastigheter i både upplänk- och nedlänkriktning. Förbättringen möjliggörs genom införandet av effektivare modulering (64 QAM) och **MIMO-** (*Multiple Input Multiple Output*) teknik där flera antenner på mottagaren och sändaren kan användas. Följaktligen är maximala teoretiska bithastigheter upp till 42 Mbit/s i nedlänk och upp till 11,5 Mbit/s i upplänk.

4.5 Nätets uppbyggnat

UMTS nätuppbyggnad består av tre huvuddelar som visas i fig. 16. Observera att de viktigaste blocken i nätverket förblir desamma även för nyare UMTS, det är bara deras funktioner som successivt ändras eller förbättras. UMTS-nätets struktur består av tre delar, **UE** (*User Equipment*), **UTRAN** och **CN** (*Core Network*). De enskilda delarna är åtskilda av gränssnitt definierade av 3GPP standardiseringsorgan. Det huvudsakliga syftet med dessa gränssnitt är att möjliggöra direkt kommunikation mellan enskilda enheter för att underlätta deras optimala samarbete och samordning.



Strukturen för UMTS-nätet

Den första delen av UMTS-nät struktur (dvs UE) innefattar två block:

- *Mobile Terminal (MT)* - Mobil terminal (MT) - fysisk enhet som hanterar all kommunikation på Uu-gränssnitt (interface), dvs mobiltelefon, bärbar dator eller handdator. MT är samma enhet som mobil station (MS) som definieras i 2G-nät.
- *UMTS Subscriber Identity Module (USIM)* - Kortet inklusive användarspecifika data såsom identifiering, autentisering algoritm och annan prenumerationsinformation. USIM motsvarar SIM som användes tidigare i 2G-nät.

Den andra delen av UMTS nätverksstruktur representeras av UTRAN, vilket är den mest modifierade delen jämfört med 2G-nät. UTRAN består av två nätelement:

- *Basstation (NodB)* - Denna NodB är analog till BTS i 2G-nätet. För detta ändamål är NodB sammansatt av masten, antenndelen och nödvändig hårdvara och mjukvara. Det huvudsakliga syftet med NodB är att göra det möjligt för UE att ansluta till 3G-nätet eftersom den är ansluten med hjälp av radiokanal

(dvs. via Uu-gränssnitt). Följaktligen styr NodB radiosökväg för upplänk och nedlänk och garanterar radiokanalens funktioner.

- Radio Network Controller (RNC) - RNC enheten är analog till BSC nod som tidigare använts i 2G. På liknande sätt ansvarar RNC för kontrollen av flera anslutna NodeBs. RNC och tidigare BSC har flera liknande funktioner, såsom ansvar för radioresursförvaltning (tilldelning av radioresurser till NodeBs, tillträdeskontroll, trängselkontroll, etc.). Dock har RNC större ansvar när det gäller förvaltning av rörligheten för enskilda användare än BSC. I 2G-nät, MSC och SGSN spelar viktig roll när det gäller rörlighetsfrågor.



Den intressanta frågan vad gäller NodB är valet av dess namn. Man kan fråga sig varför just NodB? I 2G-nät (GSM) är basstationen logiska namn BTS, som står för Base Transceiver Station. När 3G-nätet först har utformats, har enskilda enheter i nätverket kallats noder, dvs mobil utrustning var formellt känd som nodA, basstation kallats NodB, etc., i syfte att särskilja namn med 2G-nätet. Alla enheter har en efter en omdöpts till lämpliga namn, men namnet på basstationen blev kvar som NodB eftersom inget mer passande namn hade hittats.

Den sista delen av UMTS-nät består i CN. CN är indelad i kretsomkopplande (CS) och paketförmedlande (PS) domäner. Eftersom strukturen för CN är nästan densamma som i fallet med 2G-nät, listas här endast de viktigaste skillnaderna. (detaljerad beskrivning av enskilda nätelement i CN återfinns i avsnitt 12):

- Som redan nämnts har en del av trafikstyrningen flyttats från CN till UTRAN i UMTS.
- Säkerhetsfunktioner förbättrades i UMTS när nya krypterings algoritmer antogs. Kryptering utförandet sker i RNC istället för CN.
- Talhanteringsfunktion finns i CN i stället för BSS som i fallet med 2G.

IP Multipla Bisystems

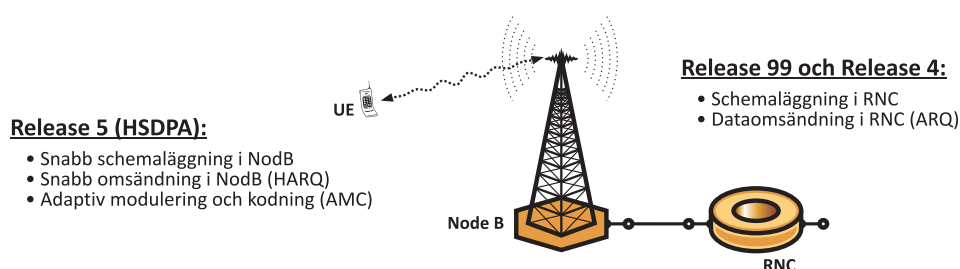
Den viktigaste delen av UMTS-CN är IMS. IMS är viktig för flexibel, snabb utveckling och spridning av nya 3G-tjänster. För att vara mer specifik, erbjuder IMS ett standard ramverk för utveckling av nästa generations IP-baserade program med stort utbud av integrerade media, video, text och data.

IMS har först införts i UMTS Release 4 där dess struktur har separerats från accessnätet för att tillhandahålla oberoende bruk. UMTS Release 6 utökar IMS med en accessoberoende nätverksinfrastruktur. Som en följd av detta kan IMS integreras även med andra accessnät baserade på GPRS- eller EDGE-teknik.

IMS-standard har antagit Session Initiation Protocol (SIP). SIP etablerar IP-anslutning mellan UE (t.ex. för röst- eller videomöten) eller IP-anslutning mellan UE och applikationsservrar.

4.6 HSDPA

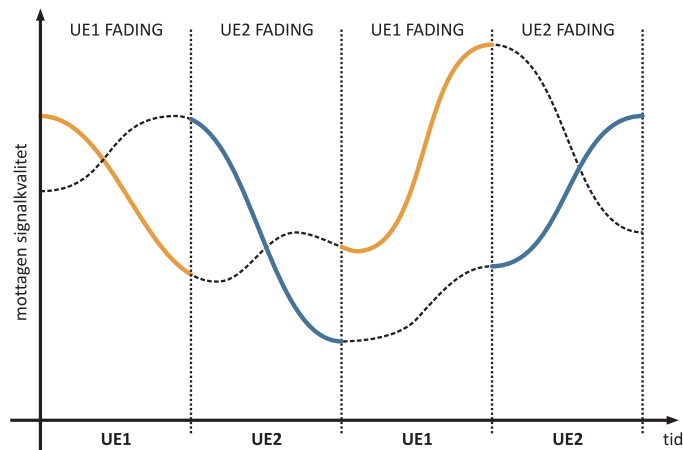
HSDPA har nyligen införts i UMTS Release 5. Den har ny teknik för att påtagligt förbättra data-bithastigheter i nedlänkriktningen (datahastighet i upplänkriktningen är densamma). Detta resulterade i att den högsta teoretiska bithastigheten per cell ökade från 2 Mbps upp till 14,4 Mbps. Förändringar i nätverk görs framför allt i UTRAN och tanken är att flytta flera radio resursförvaltningsförfaranden till NodB istället för RNC som i tidigare UMTS-versioner (dvs. Release 99 och Release 4). Fördelen med detta steg är att NodB är mycket "närmare" till UE. Således kan den mycket mer effektivt reagera på varierande radiokanalkvalite. Förfaranden som har flyttats till NodB avbildas i figur 17.



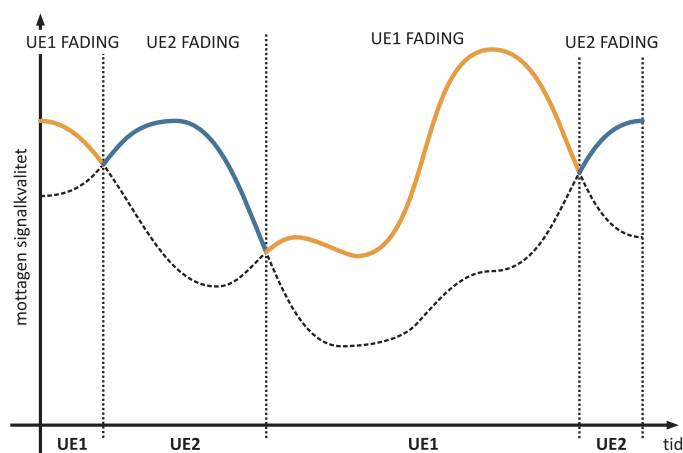
HSDPA förbättringar av NodB - Jämförelse med Release 99 och Release 4

Snabbdata schemaläggning

Den viktiga aspekten när det gäller HSDPA är att de flesta resurser delas mellan enskilda aktiva användare. Observera att resten av radio resurser avsätts för användare med aktiv röst eller media- ström (mer kommer att beskrivas i kapitel 27). Syftet med data schemaläggning är att tilldela aktuella/löpande NodB:s radioresurser till sina användare. Tilldelningsperioden, även kallade *Time Transmission Interval (TTI)*, sätts endast till 2 ms jämfört med UMTS-Release 99 eller version 4, där den minimala TTI på 10 ms används. Detta är den främsta anledningen till att vi talar om snabbdata schemaläggning. Planeringsintervallen skulle kunna förkortas eftersom NodB direkt kommunicerar med tillhörande UE och får aktuell information om deras krav och kanalkvalitet. Flera strategier för att effektivt fördela radioresurs i nedlänk kan vidtas av NodB som illustreras i figur 18.



RR SCHEMALÄGGARE



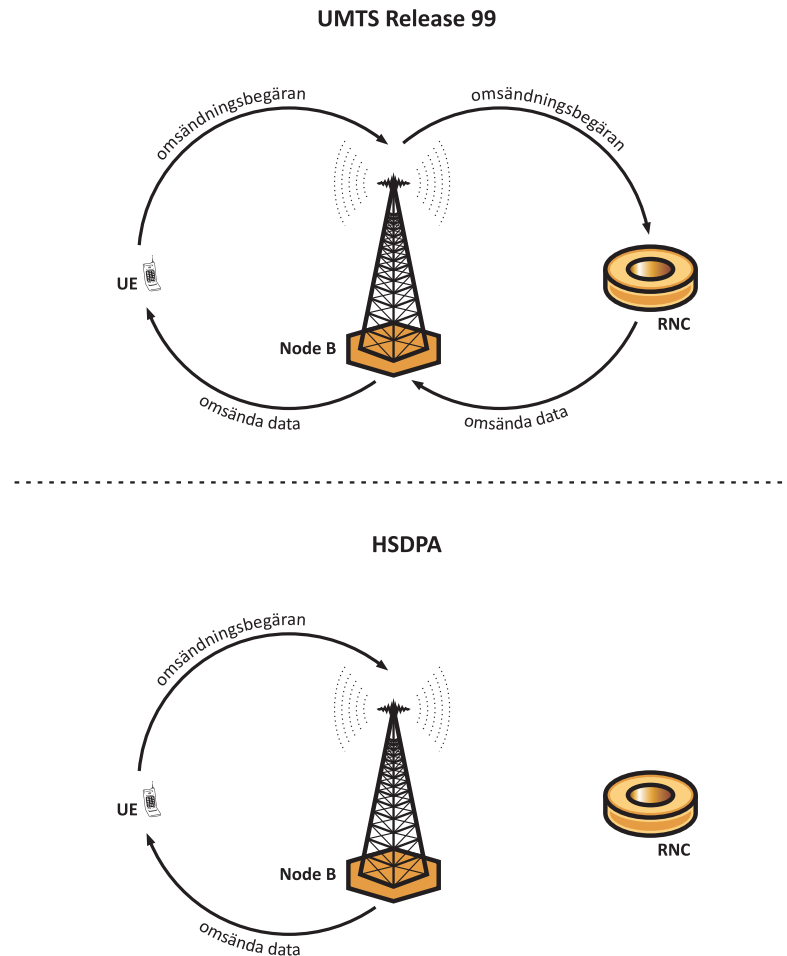
MAX C/I SCHEMALÄGGARE

Schemaläggningssmetoder I HSDPA

Den mest populära och enklaste schemaläggningssmetoden är *Round Robin* (**RR**) där HSDPA-användare är schemaplanerade med lika sannolikhet oberoende av radiokanalförhållanden. Den huvudsakliga nackdelen med detta tillvägagångssätt är att radioresurser inte utnyttjas effektivt (användare med dåliga kanalförhållanden kan inte sända med höga bithastigheter). Den andra schemaläggningssmetoden *Maximum Carrier-to-interference ratio* (**Max-C/I**), tilldelar alla radioresurser till användare med högsta kanalkvalitet och maximerar därmed HSDPA-cellens genomströmning. Ändå är detta tillvägagångssätt inte praktiskt, eftersom användarna i närheten av NodB föredras framför användare med dålig kanalkvalitet. Den rimliga avvägningen mellan de båda schemaläggningssmekanismerna som nämns ovan är att genomföra *Proportionell Fair* (**PF**)-metod. Sannolikheten att UE kan mottaga data beror både på kanalkvalitet och mängden mottagna data i det förflutna. Följaktligen, om UE är inaktiv under en lång tid, ökar dess prioritet.

Återöverföring av snabbdata

Om UE inte korrekt kan avkoda mottagna datapaket, begär den omedelbart omsändning från Node B. I tidigare UMTS-versioner sändes begäran om omsändning till RNC, som ansvarade för denna operation. I HSDPA hanteras omsändning förfarandet endast av Node B (det är därför vi talar om ett förfarande som "snabb" data återöverföringar). Den grundläggande principen är avbildad i nedanstående figur.

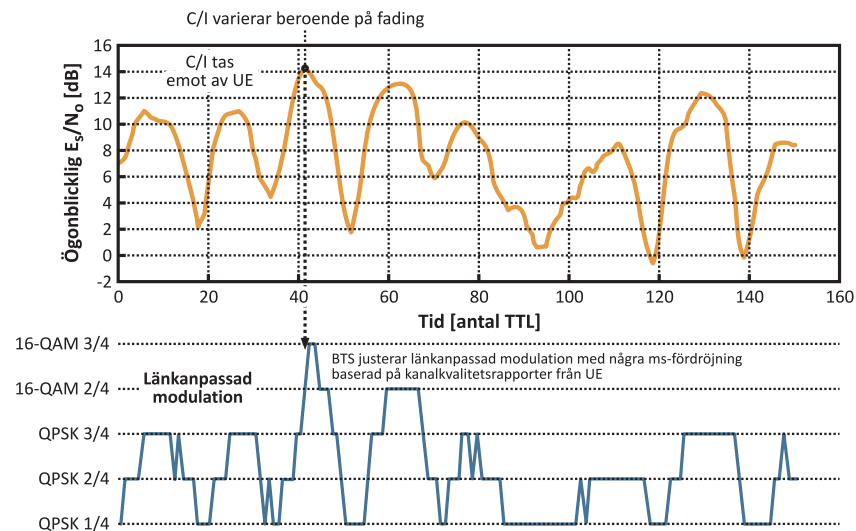


Snabbdata omsändningsförfarande i HSDPA

En extra nyhet i HSDPA är principen om omsändningsförfarande. Medan i original UMTS-standarden, fungerar enkel *Automatic Repeat Request (ARQ)*, infördes i HSDPA dess ändrade version, kallad *Hybrid ARQ (HARQ)*. HARQ kan tillfälligt lagra skadade data i en buffert som dessutom kan kombineras med nyligen mottagna datapaket för att öka sannolikheten för framgångsrik avkodning. På detta sättet minimeras effektivt mängden av återöverföringar och dyra radioresurser sparas för andra sändningar.

Fast link adaptation / Snabb länkanpassning

Länk anpassning betyder kontinuerlig parametrarjustering av överföringslänken beroende på aktuell radiokanalkvalitet. Den snabba länkanpassning aktiveras på nytt genom att flytta denna funktionalitet till NodB. I UMTS Release 99 och UMTS Release 4, är länkanpassning uppnådd huvudsakligen genom snabb effektstyrning. Å andra sidan, introducerar HSDPA ett nytt förfarande, kallad *Adaptive Modulation and Coding (AMC)* som dynamiskt väljer lämplig *Modulering and Coding Scheme (MCS)* som används i nedlänköverföringen. Följaktligen, om kanalkvaliteten är dålig, mer robust MCS system som används resulterar i lägre databithastigheter men å andra sidan garanterar låg *Packet Error Rate (PER)*. Så snart radiokanalens egenskaper förbättrats tillräckligt, det vill säga får högre Carrier to interference ratio (C/I), väljer NodB effektivare MCS för att göra dataöverföring effektivare /smidigare (se figur 20). Observera att annan viktig skillnad jämfört med tidigare UMTS-releaser är att HSDPA också stöder 16 QAM-moduleringssystem utöver QPSK.



Snabb länkanpassning i HSDPA

HSDPAs utveckling

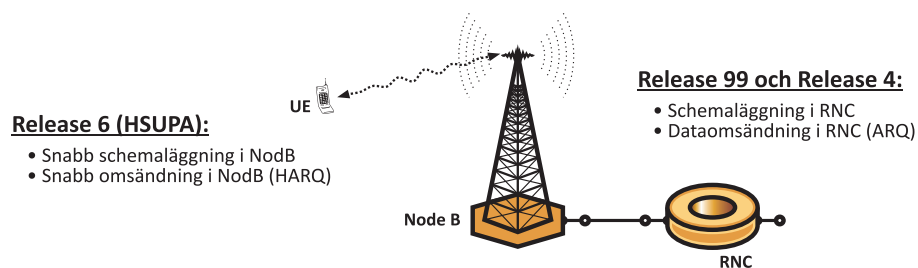
Ytterligare förbättringar för att stödja högre dataöverföring i nedlänk infördes i Releaseversion 7, där MIMO med 2x2 konfiguration togs fram för första gången (mer detaljerad förklaring av MIMO- princip kommer att beskrivas senare i Avsnitt 31). På så sätt kan den tidigare teoretiska nedlänk överföringshastigheten 14 Mbps per cell fördubblas till 28 Mbps. Dessutom ökar nedlänk databitrate upp till 42 Mbps genom införandet av 64 QAM-modulering i Releaseversion 7. Mer än så, nedlänk genomströmningen kan ökas genom DC-metoden. Principen för DC är att samla mer bärare (i de flesta fall två bärare med åtföljande bandbredd som är lika med 10 MHz). Detta resulterar i en teoretisk databithastighet i nedlänk på upp till 84 Mbps för Releaseversion 8.



Databithastigheterna som nämns ovan är endast teoretiska och användaren kommer att uppleva endast en liten fraktion av dem. Detta beror på flera orsaker. Den första viktiga aspekten nödvändig att ta hänsyn till är att de maximala teoretiska databithastigheterna inte kan uppnås i verkligheten. Den tillgängliga kapaciteten per cell är starkt beroende av aspekter, såsom radiokanalens kvalitet (används MCS), högsta tillåtna sändareffekt eller signalering overhead som krävs för hantering av kontrollförfaranden. Dessutom är verklig kapacitet per cell ytterligare delad mellan enskilda aktiva UE. Andra begränsningar är relaterade till UE:s kapacitet. UE: arna behöver inte stödja alla tillgängliga databithastigheter. Följden blir att aktuella nätverk kan stödja endast bithastigheter upp till flera Mbps per användare.

4.7 HSUPA

HSUPA introduceras först i UMTS Release 6 och detta ökar de maximala upplänkbithastigheterna upp till 5,76 Mbit per cell. Medan HSDPA leder till programvaruändringar endast i NodB och RNC, modifierar HSUPA också UE. Detta är helt logiskt eftersom syftet med HSUPA är att öka kapaciteten i upplänk och därför måste vissa förändringar tillämpas på UE också. Principen för HSUPA liknar HSDPA när det rör snabb schemaläggning och snabb överföring av omsändningar till NodB såsom visas i figur 21. Medan principen om snabb överföring av omsändningar är analog till HSDPA med genomförandet av HARQ, är det snabba tillvägagångssättet vad gäller schemaläggning helt annorlunda (som förklaras nedan). Dessutom i HSUPA finns det ingen snabb kopplinganpassning till förändrade kanalförhållanden som i fallet med HSDPA. Icke desto mindre hanteras kanalvariation av snabb effektstyrning.



HSUPA:s förbättringar av NodB - Jämförelse med Release 99 och Release 4

Snabb dataschemaläggning

Den mest anmärkningsvärda skillnaden mellan HSDPA och HSUPA är dataschemaläggningen i nedlänk (HSDPA) där radioresurser delas mellan enskilda användare, medan i upplänk (HSUPA) har alla aktiva användare samtidigt tilldelats en viss mängd resurser. Beroende på UE-kapacitet sker schemaläggningen antingen varje 10 ms (obligatoriskt) eller 2 ms (tillval).

Principen vad gäller snabb dataschemaläggning i HSUPA är som följer. Närhelst UE har data som skall sändas, behöver den sända begäran om tilldelning av radioresurser i upplänk. Därefter tilldelar NodB radioresurser till UE. Dataschemaläggning i HSUPA utförs med hjälp av förbättrad hantering av UE: s sändningseffekt.



Eftersom WCDMA har integrerats in i UMTS, är systemet huvudsakligen begränsat av maximal sändningseffekt och följaktligen av interferensen (av störningen). Följaktligen menas med radioresurser snarare hur mycket av sändningseffekten som skulle kunna utnyttjas av enskilda UE än storleken på bandbredden (den högsta tillåtna mottagna effekten av NodB definieras av RNC). På grund av detta sker fördelningen av radioresurser genom snabb dataschemaläggning i syftet att UE ändrar sin sändareffekt beroende på aktuella krav. Om stora databithastigheter är nödvändiga, måste UE öka sin

sändningseffekt. Detta, å andra sidan, kan resultera i minskning av sändareffekten för andra UE och därför måste den sammanlagda sändningseffekten för alla UE alltid hållas under ett fördefinierat tröskelvärde. Likaså, om en mindre mängd data behöver skickas av UE, kan detta UE minska på styrkan för att rädda radioresurser i upplänk.

Utveckling av HSUPA

På liknande sätt som i fallet med HSDPA kan HSUPA prestanda förbättras ytterligare genom samma teknik som den som användes i HSDPA. Den mest anmärkningsvärda förbättringen uppnås genom användning av MIMO-teknik som fördubblar den maximala teoretiska databithastigheten ungefär med 11,5 Mbps.



Kombinationen av HSDPA och HSUPA-teknik betecknas oftast som HSPA vilket refererar helt enkelt till snabb dataåtkomst i båda överföringsriktningarna. Dessutom är nyare HSDPA / HSUPA baserat på version 7 som ofta kallas HSPA +.

4.8 Tjänster och QoS differentiering

2G mobila nät (GSM) möjliggör kretskopplade taltjänster med enkla textmeddelanden (SMS) och relativt dyr kretskopplad datakapacitet (CSD, HSCSD). 2.5G systemutvecklingen (GPRS) och 2,75 G (EDGE) införde paketförmedlade (paketkopplade) datatjänster som webbsurfning, WAP eller multimedia messaging service (MMS). Dessa stödjer realistiska databithastigheter upp till ungefär 50 kbps för GPRS och upp till 200 kbps för EDGE. De uppnåbara databithastigheter var otillräckliga för mer krävande multimediatjänster.

3G mobilteknik tillhandahåller ett brett utbud av nya tjänster eftersom UMTS är tänkt att stödja IP-baserade multimediaapplikationer med höga databithastigheter upp till flera Mbps beroende på den aktuella utgåvan. Flera tjänster som 3G-användare kan dra nytta av sammanfattas nedan:

- Streaming (direktuppspelning) video på beställning - videoinnehåll, som till exempel filmer, musik, sportevenemang etc. kan streamas till UE.
- Real-Time Gaming - Spel kan stödjas beroende på UMTS-version (dvs vilken utgåva det handlar om). Spel som kräver hög dataöverföringsbithastighet och minimala förseningar kan stödjas endast av nyare versioner som Release 5 och nyare sådana.
- Nedladdning av multimediainnehåll - Användaren kan enkelt ladda ner mp3-låtar, foton och annat interaktivt innehåll.
- Meddelandetjänster - I 2G-nät är endast SMS eller enkla MMS (text tillsammans med bild) tillgängliga, medan 3G-nätet stödjer införandet av kort video etc.
- Videotelefoni och konferenser - Samtidig interaktion av flera mobila användare som kan kommunicera online med hjälp av både röst och video.
- Positionsbaseade tjänster - erbjuder användare lämpliga navigationstjänster som leder användarna till slutdestinationen, information om platser av intresse (restauranger, sportanläggningar, varuhus, sightseeing) eller räddningstjänster.
- PTT (Push to Talk) - Genom ett enkel tryck på en telefonknapp kan användaren omedelbart starta samtal med andra användare som om det vore en kommunikationsradio.

För att stödja ovan nämnda tjänster i UMTS-nät, är differentiering QoS preciseras/avgränsas. För att uttrycka det enkelt, om belastningen av systemet är hög, måste vissa tjänster prioriteras för att garantera end-to-end applikationsprestanda. För detta ändamål introducerar UMTS fyra QoS klasser (se tabell nedan) som huvudsakligen kännetecknas av sin paketfördröjningskänslighet:

Serviceklass	Beskrivning
Konversationsklass	Höga krav på fördröjning med symmetrisk eller nästan symmetrisk trafik och med särskild mängd av radioresurser
Streaming klass	Lägre krav på fördröjning i förhållande till konversationsklass, men ändå med särskild mängd av radioresurser
Interaktiv klass	Höga krav på fördröjning, ingen särskild mängd med radioresurser
Bakgrundsklass	Låga krav på både förseningar och mängden av radioresurser



Konversationsklassen tillsammans med streaming klassen används för att stödja applikationerna i realtid (RT), såsom röst (konversationsklass) eller streamad video (streaming klass). Å andra sidan, är den interaktiva klassen och bakgrundsklassen designad för att applikationer ska användas av icke realtid (non real-time; NRT) när så kallad Best Effort (BE) åtkomst används. Följaktligen är dessa utformade för tjänster som online-spel, positionsbaserade tjänster (interaktiv klass) eller www surfning (bakgrundsklass).

5 Long Term Evolution (Avancerat) - LTE(-A)

5.1 Inledning

Nästa utvecklingssteg i UMTS-nät kallas *Long Term Evolution (LTE)*. LTE definieras (karaktäriseras) av 3GPP (releases) utgåva nr. 8 och 9. I motsats till UMTS, använder LTE och SC-FDMA (Single Carrier OFDMA) tillgång för nedlänk och upplänk respektive i det fysiska skiktet i stället för WCDMA som används i UMTS. Därför är överföringsfunktionerna helt annorlunda i jämförelse med UMTS. Trots detta är LTE ändå att betrakta som en del av 3G-systemet eftersom det inte uppfyller kraven enligt ITU för 4G-nät. Den första standard med beteckning 4G är **LTE-A** (*Long Term Evolution - Avancerat*) enligt 3GPP Release 10, standardiserad i juni 2011. Det är en utveckling av tidigare LTE Release 8 eller Release 9 och den bygger på samma principer som de båda LTE versionerna, men den är i linje med de krav kända under beteckningen IMT-Advanced antagna av ITU. LTE-A lägger till nya funktioner och utökad kapacitet utöver vad som finns i LTE. Jämfört med LTE, introducerar LTE-A en aggregeringsbärare, samordning av "inter-cell interferens" samt förbättrar (förhöjer) överföring (sändning) av multipla antenner (MIMO). Alla dessa förbättringar möjliggör för LTE-A att möta IMT-Advanced krav på 4G mobilnät och erbjuda maximala datahastigheter på upp till 1 Gbps. Förutom LTE-A, även **WiMAX** (*Worldwide Interoperability för Microwave Access*) enligt IEEE 802.16m, standardiserats av **IEEE** (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) godkändes som 4G-tekniken för mobila nätverk. Trots detta förväntas inte WiMAX vara utplacerad i någon stor mängd i Europa. Därför fokuserar vi bara på LTE / LTE-A i de följande kapitlen. Låt oss dock först ge en kort översikt över LTE / LTE-A:s utveckling när det gäller 3GPP releases med fokus på större innovationer (förbättringar) i jämförelse med de tidigare utgåvorna.

Release 8

Denna utgåva antog OFDMA-modulering för användar tillträde. Därutöver kan cellen utnyttja bredare kanalbandbredd, för det mesta endast i nedlänk och med hjälp av likström uppnå nedlänks- kapacitet upp till 84 Mbps (64 QAM tillsammans med DC).

Release 9

Denna utgåva introducerar femtoceller, med beteckning *Home eNodeB* (HeNB), i nätverks strukturen. Det möjliggör stöd för **MBMS** (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) och förbättrar LBS (Location Based Services).

Release 10

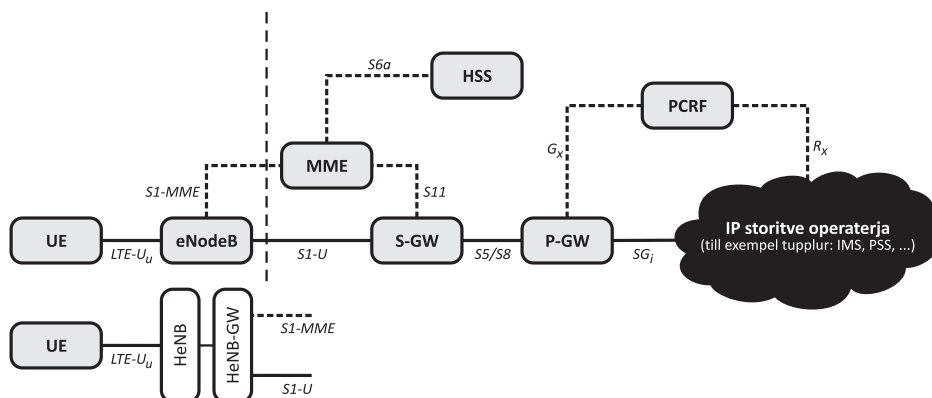
Den här utgåvan är den första 3GPP 4G med kompatibel standard. Ny teknik såsom aggregerings bärare, förstärkt nedlänk MIMO, upplänk MIMO samt stöd av reläer införs. För att möjliggöra tät utbyggnad av femtoceller definieras avancerad teknik för interferens (störning) samordning.

Release 11

Denna utgåva är fortfarande under utveckling. I motsats till frisläppandet av 10:e utgåvan bör den nya versionen ytterligare förbättra aggregeringsbärare, införa *Cooperative MultiPoint communication* (**CoMP**) samt öka spektral effektivitet och säkerställa högre energieffektivitet.

5.2 Nätverks uppbyggnad

LTE:s nätverksuppbyggnad härrör från de forna GSM och UMTS strukturerna. I motsats till dessa är LTE utformat för att stödja endast paketkopplade tjänster. Kretskopplade tjänster är inte längre med i nätverkets uppbyggnad sedan (från och med, efter) LTE. Nätverket består av åtkomstnät med namnet **E-UTRAN** (*Evolved Universal Terrestrial*) och **EPC** (*Evolved Packet Core*) som visas i figur 22.



LTE:s nätverksuppbyggnad

Tillträdesdelen (access delen), E-UTRAN, består av basstationer som betecknas i LTE som eNodeBs (som övertagits från UMTS-namn NodB, med "E" som står för "Evolved"). Dessa eNodeBs ansvarar för radioresursförvaltning samt fördelning av radioresurser, rörlighetskontroll, schemalägningsresurser för både upplänk och nedlänk, kryptering av radiodataöverföring eller för anslutning till EPC. Om femtoceller byggs ut, är dessa också en del av E-UTRAN. I detta fall kan HeNB port (HeNB GW) inkluderas mellan HeNB och EPC för att stödja ett stort antal HeNBs.

EPC består av flera enheter. S-GW överför alla IP-paket för samtliga användare i ett nätverk. Den fungerar som ett lokalt mobilitetsankare för överlämning mellan eNodeBs. S-GW riktar flöden och vidarebefodrar paket till och från användarna. Denna står för inter - operatör laddning (räkenskap), t.ex. vid roaming. Den andra enheten, MME, kontrollerar och hanterar signalöverföring mellan UE och EPC inklusive autentisering, auktorisation, säkerhetskontroll, upprättande av förbindelse mellan UE och nätverk, roaming och rutiner för användarens positions ledning. Slutligen är P-GW ansvarig för åtgärder som rör kvaliteten på service och flödeshantering. Det betyder att det filtrerar användarens paket, upprätthåller QoS för att garantera nödvändiga bithastigheter och kontrollerar servicenivån i både nedlänk och upplänk.

Förutom dessa tre enheter är också två logiska funktioner en del av LTE-A EPC uppbyggnad:

- **PCRF** (*Policy Control and Charging Rules Funktion*) definierar regler för avgiftsbetalning och policykontroll. Det vill säga, definierar åtgärder och regler i händelse av bristande samstämmighet mellan användarens QoS-profil och de utförda tjänsterna.
- **HSS** (*Home Subscriber Server*) innehåller information om användarens prenumeration såsom QoS-profil eller roamingprofil. Den innehåller också information om användarens hem MME (dvs MME som UE är ansluten till).

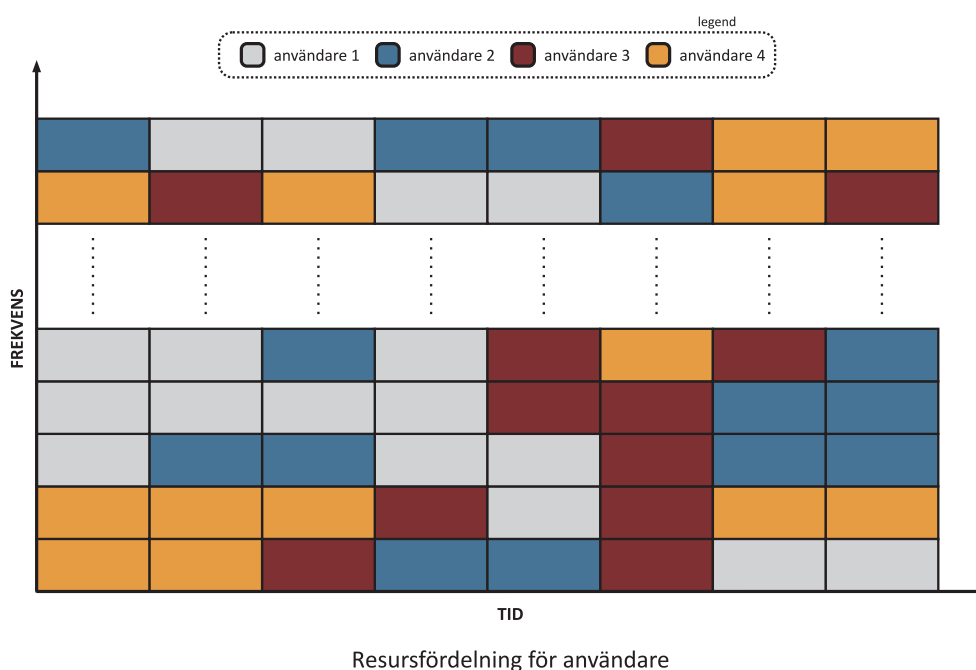
5.3 LTE/LTE-A fysiska skiktet

Kommunikationen i det fysiska skiktet i LTE / LTE-A skiljer sig från den som används i UMTS. Det finns OFDMA och SC-FDMA-teknik för åtkomst i både nedlänk och upplänk. Även ett större spektrum av frekvensband har fastställts för LTE. Vid denna tid, är 25 frekvensband preciserade (reserverade, definierade) för 4G (17 parade band för FDD och 8 oparade för TDD). Till exempel band vid 2 eller 2,6 GHz eller band runt 3,5 GHz och under 1 GHz (700 - 900 MHz) är tänkta att användas.

OFDMA är multipleaccessmetod som använder sig av OFDM. OFDM är en multi-bärareöverföring som kombinerar TDMA och FDMA (se diagram 23). Hela bandbredden är uppdelad i relativt tätt åtskilda underbärsvågor. För att möjliggöra täta avstånd mellan underbärsvågor måste vinkelrätt (ortogonal) spektrum av underbärsvågor säkerställas. Det betyder, spektralt högst en underbärsvåg överlappar minimum av andra underbärsvågor. TDMA delar varje underbärsvåg med flera användare med hjälp av tidsdelningsmetod. Detta innebär att hela den tillgängliga radioresursen delas upp i tid och frekvens och kan delas (nyttjas) av flera användare. En tidsintervall på en underbärsvåg representerar (utgör) en OFDM-symbol. Varje symbol innehåller modulerade data och moduleringen kan vara olika för varje symbol. För att undvika **ISI** (*InterSymbol Interference*), införs en *cykliskt prefix* (**CP**). CP består av de kopierade sista proverna av symbolen och dess syfte är att undvika överlappning av enskilda symboler.



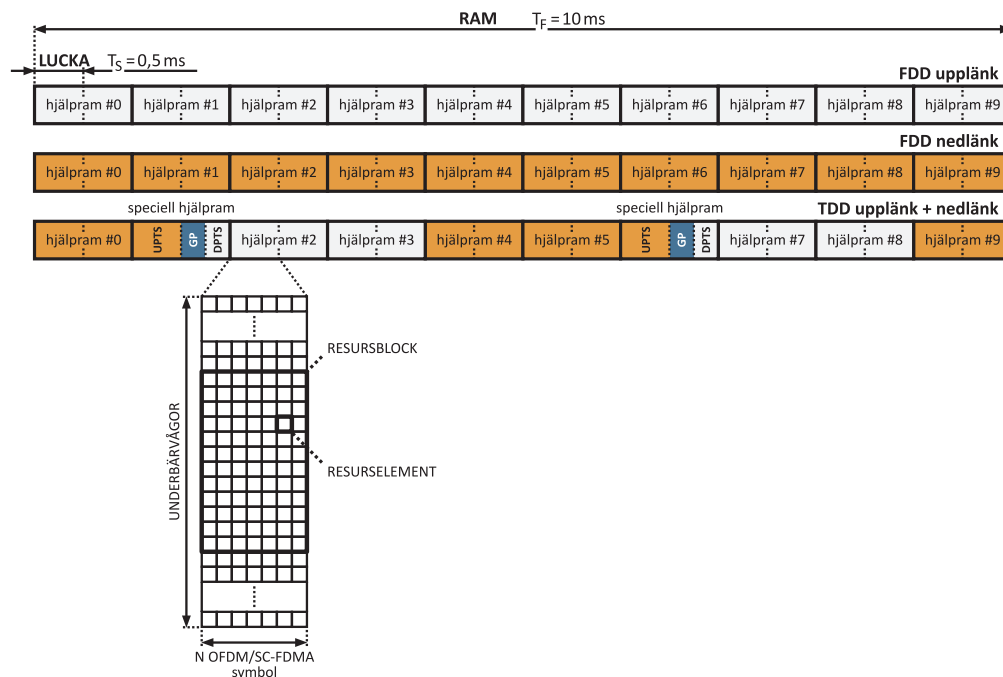
Observera att i motsats till UMTS, radioresurser ska snarare förstås som OFDMA-symboler på det fysiska skiktet i LTE / LTE-A.



OFDMA och resursfördelning i LTE / LTE-A

En svaghet i OFDMA består av en signifikant skillnad i fördelningen av effekt på varje underbärvåg pga oberoende modulering av användardata över enskilda underbärvågor. Detta innebär att en underbärvåg kan tilldelas hög effekt, medan andra underbärvågor kan få mycket låg effekt. Följaktligen moduleras data (uppgifter) i varje underbärvåg utan hänsyn till information som moduleras på andra underbärvågor. Detta leder till hög **PAPR** (*Peak to Average Power Ratio*), som negativt påverkar energiförbrukningen. SC-FDMA används i upplänk i stället för OFDMA för att minska PARP. I SC-FDMA, moduleras alla data som sänds i samma tidsintervall som en linjär kombination av dessa datasymboler. Därför innehåller en symbol på underbärvågor komponenter som är relaterade till information avbildad på andra underbärvågor. På så sätt sänks en **PAPR** (*Peak to Average Power Ratio*) med resultatet att störningar minimeras och UE:s batteri förbrukning minskar.

Liksom UMTS stöder på samma sätt LTE både FDD:s och TDD:s moder för dataöverföring. Två typer av fysiska skiktramar (märkta som typ 1 och typ 2) visas i Figur 24. Typ 1 är lämplig för FDD:s överföring i antingen full duplex eller halv duplex medan typ 2 är avsedd för TDD. I båda fallen är överföringen organiserad i ramar med varaktighet 10 ms. Varje ram är uppdelad i tio delramar. I båda typerna av ram, består varje delram av två slitsar med samma varaktighet av 0,5 ms. Slitsarna är sammansatt av så kallade resursblock, som vidare innefattar resurselement. Antalet resurselement i ett resursblock definieras som en produkt av multiplicering av ett antal underbärvågor per resursblock med ett antal symboler. Beroende på storleken av **CP**, är mängden med symboler i ett resursblock antingen sex (om förlängd CP används) eller sju (om normal CP används). Underbärvågorna i LTE (-A)- systemet är jämnt fördelade med avstånd av 15 kHz och resursblock består av 12 underbärvågor. Liksom i HSDPA, använder LTE/LTE-A adaptiv modulering och kodning. Därmed är den faktiska modulering och kodning som väljs beroende av kvaliteten på signalnivån. Således beror mängden av bitar som transporteras i ett resurselement på det valda modulerings-och kodningsschemat (MCS). Tre modulationer finns i LTE/LTE-A: QPSK, 16-QAM, 64-QAM.



LTE-A:s TDD:s och FDD:s ramstrukturer

I FDD-ram, beaktas de olika frekvenserna för varje riktning. Därför kan tio underramar användas för DL (nedlänk) liksom för UL (upplänk) överföring samtidigt. Detta tillvägagångssätt leder till jämn fördelning av radioresurser i båda riktningarna om samma bandbredd används.

I TDD-ram, finns båda sändningsriktningarna på samma frekvens. För att stödja olika förhållanden mellan DL och UL, definierar LTE-A flera olika konfigurationer för tilldelning av hjälpämen till antingen DL eller UL. Mängder av resurser kopplade till DL och UL kan variera från 2:03 till 09:01. Generellt kan varje delram ägnas åt DL-överföring (i tabell betecknad som D delram), UL-överföring (betecknad U delram), eller till en kombination av båda. I det sista fallet kallas delramen speciell (S) delram. De första och sjätte delramarna tilldelas alltid DL-riktning oavsett den valda konfigurationen. Dessutom är den andra delramen alltid tillägnad S-delramen och den tredje är tilldelad till UL-överföring. Beroende på längden av omkopplingsperioden mellan DL och UL, kan den sjunde delramen associeras till (förknippas med) antingen D (10 ms omkopplingsperioden) eller S-delram (5 ms omkopplingsperioden). Innehållet i de andra underramarna beror på DL-UL-konfiguration enligt definitionen i tabellen.

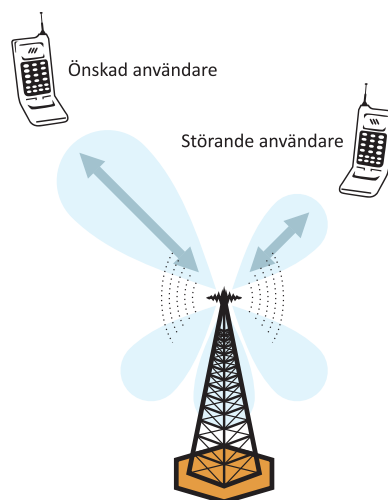
Tilldelning av en delram enligt DL-UL konfigurationer för TDD

DL-UL konfiguration	DL-UL omkopplings period [ms]	Delram #									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

S-delramen innehåller tre delar: DL-överföringsdelen, känd som *Downlink Pilot Time Slot (DwPTS)*, *Guard Period (GP)* och UL-överföringsdel betecknad som *Uplink Pilot Time Slot (UpPTS)*. DwPTS-delen upptas vanligen av DL-data såsom i konventionell D-delram, endast med reducerad längd. Dess längd varierar mellan tre och tolv symboler enligt S-delram konfiguration. UpPTS hanterar antingen ett eller två SC-FDMA-symboler och dessa används endast för överföring av styrkanaler (dvs ingen dataöverföring). GP är schemalagd direkt efter DwPTS och används för att koppla om antenner från sändnings- till mottagningsläge och vice versa. Användarens data kan alltså inte överföras under GP. Dess längd bestämmer den maximala verifierbara cellstorleken som är proportionell mot signalen utbredningsfördröjning.

5.4 Strålformning

Om endast en antenn används vid sändning, överföringen för en användare skapar störningar (interferens) för alla andra användare i samma cell. Om flera antenner används för sändningen kan överföringen hanteras på ett sätt som minskar störningar med hjälp av så kallad strålformning. Strålformningen kontrollerar och anpassar överföringsriktningen genom att fokusera sändningsstyrka till den önskade användaren och genom detta minimeras störningen för andra användare. Sändningseffekten riktas alltså endast i riktningen mot mottagaren samtidigt som signaler i andra riktningar minimeras. Strålformning sker genom multiplikation av den sända signalen med komplexa (sammansatta) vikter i syfte att justera storleken och faser hos enskilda antensignaler. För att säkerställa överföring i en lämplig riktning, måste sändaren vara medveten var målterminalen är belägen. Då vi vet vilken riktning som gäller, beräknas antingen en uppsättning av komplexa vikter eller väljs dessa ut från standardfördefinierade kodboksbibliotek. Riktningen kan härledas från kanalkvalitetsrapporter som eNodeB samlar in från användare. Icke desto mindre är bestämningen av riktningen inte definierad av LTE.



Strålformnings principer

5.5 Flerfaldig antennöverföring

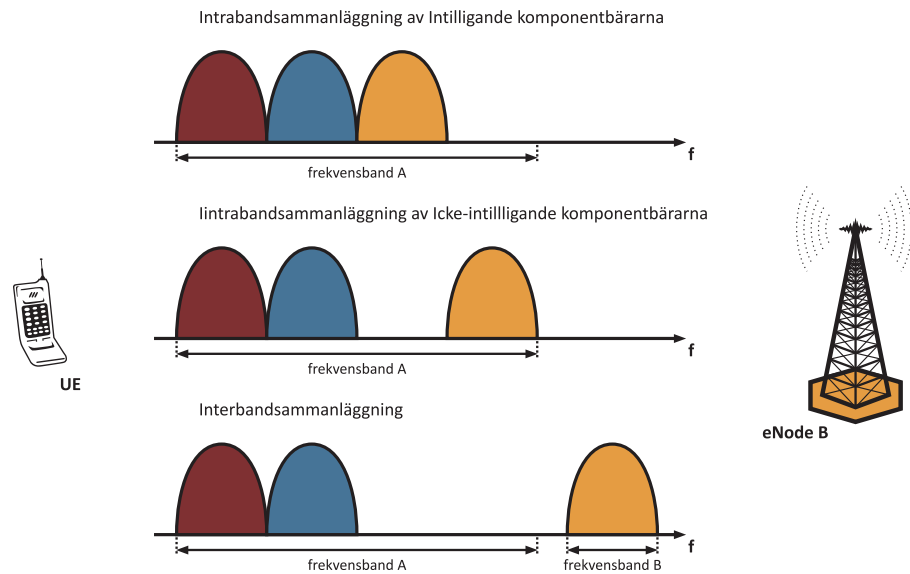
Överföring med hjälp av flera antenner är en teknik som använder mer än en sändnings- och/eller mottagningsantenn för kommunikation. Detta tillvägagångssätt gör det möjligt att uppnå högre bithastigheter till följd av tillkomsten (inrättande) av flera parallella kanaler. Flera antenner kan också skapa olika fördelar när det gäller fadningseffekter (blekningseffekter) för antenner utplacerade relativt långt från varandra med kannalegenskaper som inte har ömsesidigt samband. Flera antenner kan användas antingen enbart på den ena sidan (som mottagare eller sändtagare) eller på båda sidorna. Det förra fallet betecknas som **SIMO** (*Single Input / Multiple Output*) eller **MISO** (*Multiple Input / Single Output*) för flera mottagande antenner respektive flera sändande antenner. Den senare situationen med flera antenner på båda sidor kallas **MIMO** (*Multiple Input / Multiple Output*). Notera att i UMTS, förutsätts endast två antenner på båda sidor. I LTE och LTE-A kan upp till fyra och åtta antenner sättas på en sida respektive för MIMO. En tilldelning av modulerade data (symboler) till enskilda antenner utförs av en antenn som kartläggning blocket. Då sändningarna placeras ut på samma gång i samma frekvensresurser skapar de parallella sändningarna störningar. Därför måste avancerad signalbehandling tillämpas på samma sätt som för strålformning. Följaktligen är varje ström från en antenn multiplicerad med komplexa vikter för att ändra fasen hos signalen (signalfasen).

5.6 Sammanläggning av bärare

Även om LTE-A enligt Release 10 når högre spektral effektivitet jämfört med tidigare versioner av LTE, kan inte den maximala hastigheten av 1 Gbps som krävs av IMT-Advanced för 4G mobilnät nås genom att använda konventionella frekvensband med bredd upp till 20 MHz. För att uppfylla kravet måste bandbredden ökas. Därför slår LTE-A samman radioresurserna över flera band (bärare) för att genom detta utföra parallell överföring till en UE. Detta tillvägagångssätt kallas bärvågsaggregering (bärvågsammanlänkning). Denna teknik är en förbättring av DC som används i UMTS där dock bara upp till två bärare kan slås samman. I LTE-A betecknas varje bärare som används för dataöverföring en komponentbärare. LTE-A gör det möjligt att i en sändning använda upp till fem komponentbärare i nedlänk respektive fem i upplänk. Det resulterar i bandbreddanvändning på upp till 100 MHz. I både nedlänk och upplänk, betecknas en komponent som primär komponent, alla andra är sekundära komponenter. Detta betyder, att varje UE måste ha en primär komponent och inga eller flera (upp till fyra) sekundära komponenter. Den primära komponenten används för permanent signalering i viloläge (detta åstadkommer sparläge för batteri då datakommunikation uteblir). De sekundära komponenterna utnyttjas för att öka bandbredden för datakommunikation, men inte för signalering i viloläge. Tilldelning av primära och sekundära komponenter är specifikt för varje UE, det vill säga den kan variera från UE till UE.

Det finns ingen anledning att intilliggande bärare ska tilldelas till en UE. Tre typer av bärarsammanläggningar (aggregeringar) är aktiverade som visas i figur 26:

- Intra-bandaggregering med angränsande komponenter - denna typ är det enklaste sättet av bärvågsaggregering eftersom bandet kan ses som en komponent från UE-synvinkel. Därför finns det inga särskilda krav gällande UE respektive HeNB (inga ytterligare sändare eller mottagare krävs).
- Intra-bandaggregering med icke-angränsande komponenter - signalen kan inte ses som en överföring, således krävs fler sändare/mottagare. Detta ökar kostnaden för utrustning.
- Inter-bandaggregering (med icke-angränsande komponenter) - åter, fler sändare/mottagare behövs på grund av separation av bärare i frekvensen.



Typer av bäraraggregering

Samtliga UE med bärvågsaggregeringsstöd kan komma åt alla komponenter parallellt. Om en UE inte stöder bärvågsaggregering, kan varje bärvåg komma individuellt på ett konventionellt LTE-sätt för att säkerställa kompatibilitet bakåt.



Bärvågsaggregering som är tillgänglig för TDD- samt för FDD-läge med samma mode måste tillämpas för alla komponenter som används av en UE. Dessutom måste samma konfiguration av upplänk- och nedlänkdelramar hållas för TDD medan konfiguration av särskilda underramar kan vara olika för enskilda komponenter.

5.7 Tjänster och tillämpningar i LTE / LTE-A

Liksom i tidigare mobilkommunikationsstandards, möjliggör LTE / LTE-A att flera program med olika nivå av QoS (t.ex. röstsamtal och FTP-nedladdning eller videokonferens) körs samtidigt. Naturligtvis kräver röst- eller videosamtal mindre fördröjningsskakning (dvs variation av paket- fördröjning) än FTP-nedladdning för att tillfredsställa användare med kvaliteten i anslutningen. Å andra sidan kräver FTP-nedladdning högre kapacitet och lägre takt av paketförluster för att minimera tiden för filnedladdning. För dessa olika nivåer eller kvalitetskrav, LTE-A gör det möjligt att definiera flera olika bärare med specifika krav för var och en. För att skilja individuella behov, så kallad *QoS Class Identifier (QCI)* införs. QCI definierar nio klasser beroende på en uppsättning av fyra överföringsparametrar som visas i tabell.

Först visar den om en bithastighet garanteras (**GBR** - *Guaranteed Bit rate*) eller inte (ej GBR). För GBR tilldelas en permanent tjänst, ett fast belopp av radioresurser och det inte är nödvändigt att kontinuerligt ansöka om dessa resurser. Mängden av radioresurser ställs in i början av förbindelsen, och den motsvarar den maximala förväntade bithastigheten som krävs av den angivna tjänsten. I fråga om icke-GBR är inga resurser permanent reserverade för tjänsten. Mängden resurser beror på de faktiska kraven på tjänsten och mängden av tillgängliga resurser i nätverket. Därför kan inte denna typ av tjänster garantera någon bithastighet.

Den andra viktiga parametern definierar paketprioritet. Denna parameter anger prioritet vid bearbetning. Till exempel, om en nod är överbelastad, är paket med högre prioritet schemalagd före paket med lägre prioritet.

Nästa parameter betecknas som paketfördröjningsbudget (packet delay budget) och representerar maximal paketfördröjning riktad av den givna QCI.

Den sista parametern, andelen förlorade paket (packet error loss rate), är relaterad till frekvensen av förlorade paket under sändning. Den representerar mängden av förlorade paket eller paket som mottagits med ett fel som inte tillåter deras vidare bearbetning.

Tjänsteklasser i LTE-A

QCI	GBR / Non-GBR	Priority	Packet delay budget	Packet error loss rate	Example of service
1	GBR	2	100	10^{-2}	Röst samtal (samtal, konversation)
2	GBR	4	150	10^{-3}	Video samtal (samtal, konversation)
3	GBR	5	300	10^{-6}	Streamed video (icke-konversation)
4	GBR	3	50	10^{-3}	Real-time gaming (spel i realtid)
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	Signalering
6	Non-GBR	7	100	10^{-3}	Röst, video (live streaming)
7	Non-GBR	6	300	10^{-6}	Video (buffrad streaming)
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	WWW, FTP, e-post, meddelande
9	Non-GBR	9	300	10^{-6}	Som QCI 8, men med lägre prioritet

5.8 Femtoceller

Som flera studier visar genereras det mesta av användartrafik från inomhus. De 4G-nät förutsetts att använda inte bara låga frekvensband (t.ex. 800/900 MHz), men också frekvenser över 2 GHz. Högre frekvenser är sammankopplade med sämre utbredning av signalen. Detta problem förekommer särskilt i inomhusmiljöer. Därför kan inomhus användare inte nå den signalkvalitet som motsvarar deras behov. Dessa problem åtgärdas genom ett nytt koncept med så kallade femtoceller (i LTE-A, betecknade som HeNB). Femtocell kan öka genomströmningen för inomhus användare och också avlasta makrocell genom att betjäna användarna som får lågkvalitetssignal från en makrocell.



Femtocellen är en lågkostnadsbasstation, som är tänkt att sättas in i användarens lokaler såsom ett hus eller ett kontor. Femtocellen är ansluten till stamnätet (Internet) via en trådbunden anslutning som **DSL** (*Digital Subscriber Line*) eller optisk kabel. Denna stannätsanslutning levererar användarens enna stannätsanslutning levererar användarens data från femtocellen till en destination (en server eller målanvändare) och vice versa. Den sändande effekten femtocellen vanligtvis ställs in på är att täcka utrymmen inomhus för att tillhandahålla tillräcklig signalkvalitet till nära användare.



Den maximala sändningseffekten av en femtocell är ungefär upp till 21 dBm. Således är femtocell- täckningen endast i storleksordningen tiotals meter.

Femtocellerna kan ge tre typer av åtkomst:

- Öppen åtkomst: Alla användare under femtocellstäckning kan ansluta sig till den. Radioresurser samt stamnätets anslutningskapacitet fördelas med lika prioritet till alla användare anslutna till femtocellen. En fördel med den öppna åtkomsten består i en möjlighet att avlasta en makrocell genom att servera flera utomhus användare i områden med tung trafikbelastning eller genom att betjäna användarna långt från makrocellen. Å andra sidan kan tät utplacering av femtoceller med öppen åtkomst leda till betydande ökning av mängden initierade överlämningar.
- Stängd åtkomst: femtocell med stängd åtkomst medger endast användare som ingår i så kallade *Close Subscriber Group*- (**CSG**) lista. CSG listan definierar användare som kan utnyttja femtocellen för (access) åtkomst till Internet. Den leds av en abonnent, dvs av en användare som är ansvarig för femtocellen. Normalt förutsätts endast få användare att ingå i CSG (ungefär fyra och upp till åtta användare ingår för hemfemtoceller). Vid denna slutna åtkomst delar endast en begränsad mängd användare som anges i CSG femtocellens radio- och stannätsresurser. Därför kan dessa användare garanteras högre kvalitet jämfört med Open Access. Å andra sidan bör femtocellsstörningar som icke-CSG användare åsamkas noggrant hanteras för att undvika en prestandaförsämring för dessa användare.

- Hybrid-åtkomst: Denna åtkomst är en kombination av både öppna och slutna åtkomster. I detta fall CSG-listan definieras och en del av femtocellens överföringskapacitet (radio samt backhaul) är tillgänglig endast av CSG:s användare. Resten av radioresurserna och stamnätet delas av andra icke-CSG användare.

En viktig fråga som rör femtocellers utplacering är ökningen av störningar. Störningen som femtoceller åstadkommer klassificeras som störningar från femtocells - till makrocellsanvändare (cross-tier störningar) och femtoceller som stör andra femtoceller (co-tier störningar). Nivån på de negativa störningseffekter beror bl.a. också på fördelningen av radioresurser bland femtoceller och makroceller. Två sätt av radioresursfördelning kan identifieras:

- Co-channels utplacering: Frekvensbanden för makro-och femtoceller överlappar varandra. Det betyder att samma bärare delas av makroceller och femtoceller. I detta fall kan störningen mildras genom rätt reglering av femtocellssändareffekten eller allokeringen av radioresurser i syfte att minimera störningar.
- Ortogonal kanalutplacering: Olika bäruppsättning tilldelas för makroceller och femtoceller. Detta sätt eliminerar cross-tier-störningar. Å andra sidan sänks återanvändningen av frekvenser och radioresurserna används inte effektivt.

5.9 Reläer

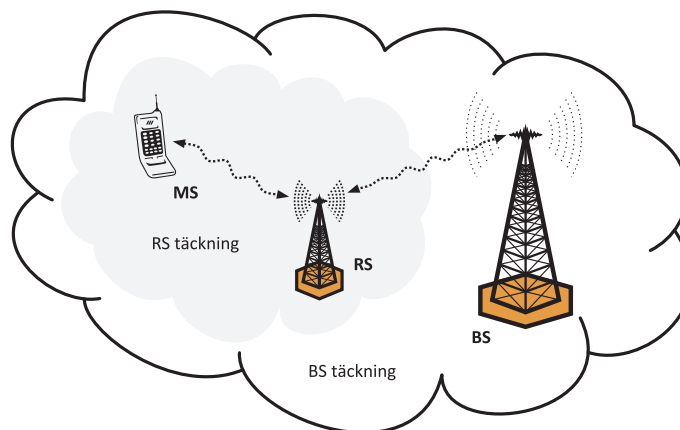
Tillsammans med femtoceller, är så kallade relästationer fastställda (definierade, preciserade) för 4G-nät. I allmänhet är reläerna förenklade (och således billiga) eNodeBs som överför data från eNodeB till användaren. Datautbytet mellan UE och nätverket dirigeras (leds) via en eller flera reläer.



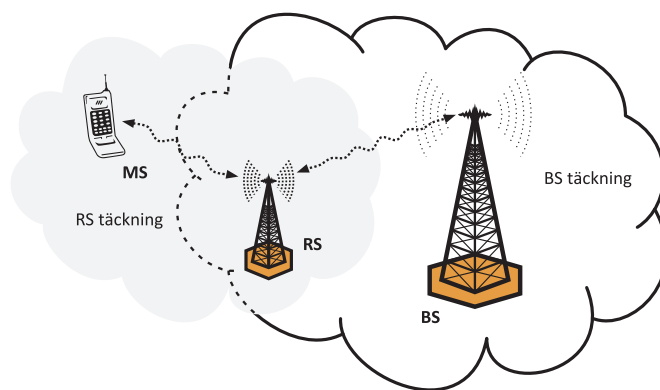
Varje del av kommunikationen (t.ex. från UE till relä, från relä till eNodeB etc.) utgör ett hopp i överföringen. Därför är kommunikation med hjälp av reläer även känd som multihoppkommunikation.

Reläerna kan användas antingen för att utöka täckning av en eNodeB eller att öka genomströmningen i ett specifikt område såsom visas i figur 27. För att öka genomströmningen är ett relä utplacerad inom täckningsområdet för eNodeB. Ökningen i genomströmningen uppnås genom minskningen av avståndet mellan de kommunicerande noderna vilket leder till att signalnivån som följs av målnoden eller UE ökar. För att utvidga täckningen sätts reläet ut nära utkanten av eNodeB-cellen. Relä kan användas även utanför cellgränsen upplevd av UE. Detta beror på det faktum att relä kan bli utplacerat på en plats med direkt utsikt över eNodeB och därmed är kommunikationskanalen mellan eNodeB och reläet av högre kvalitet jämfört med kanalen mellan eNodeB och UE utan direkt uppsikt över eNodeB.

I motsats till femtoceller förväntas reläer vara fullt kontrollerade av operatörer och deras anslutning till nätverket sker via trådlös länk delad med användarnas dataanslutning som betjänas av eNodeB.



a) Dataflödesförbättring



b) Täckningsutvidgning

Reläernas utplacering och syfte

Reläerna kan klassificeras enligt reläers rörlighet i:

- Fast relä - detta relä är permanent installerat på samma plats utan rörligt reläets möjligheter. De fasta reläerna får stöd sedan Release 10 av LTE-A.
- Mobil relä - antas sättas på rörliga fordon såsom buss eller tåg. I detta fall ska reläet ofta utföra överlämningar mellan eNodeBs. Under förflyttningen av reläet, måste överlämningar bland eNodeBs säkerställas även om det mobila reläet betjänar UE. De mobila reläer stöds inte i Release 10, men bör beaktas i Release 11.

6 Tillfälliga nätverk - Ad Hoc nätverk

6.1 Ad Hoc nätverk (Tillfälliga nätverk)

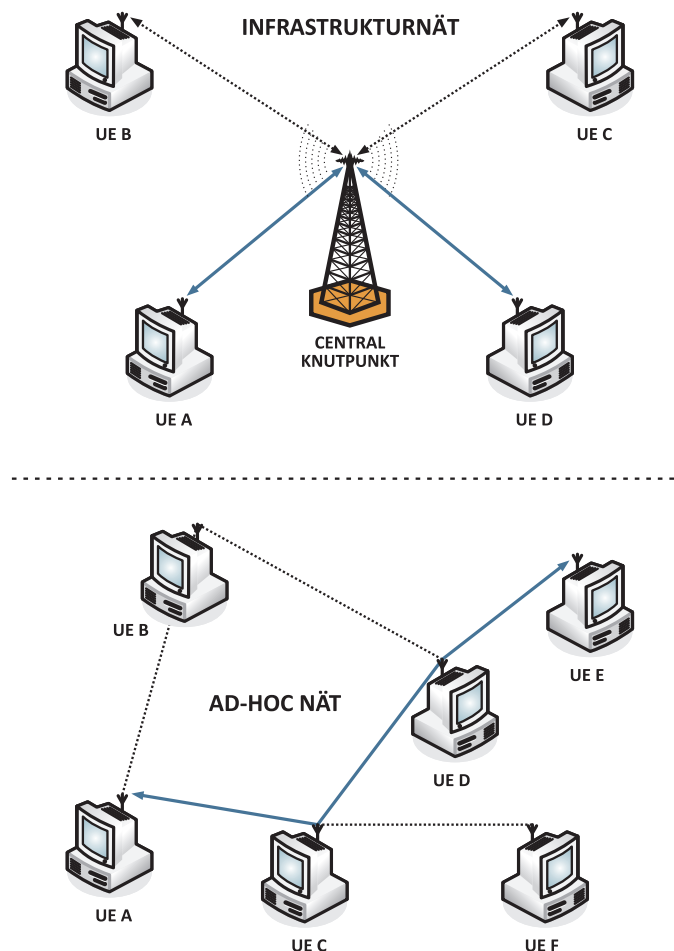
Det som främst kännetecknar ad hoc-nätverks topologi är att det inte finns någon central styrenhet som i fallet med infrastrukturnät. Det innebär att det inte finns någon basstation som i fallet med konventionellt mobilnät (GSM, UMTS, LTE) inte heller några åtkomstpunkter som i fallet med **WiFi**- (*Wireless Fidelity*) teknologi, som ska kontrollera och hantera nätverket. Dessutom, medan i cellulära nät mobilstationen skickar/tar emot data och styrinformation endast till/från basstationen, är alla mobila stationer i ad hoc-nätverk lika och kan kommunicera sinsemellan. Den viktiga tanken är att ad hoc-nätverk endast har temporär varaktighet, inte permanent som i fallet med infrastrukturnät.



Begreppet "ad hoc" är hämtat från latin, som står för "till detta". För att vara mer specifik, innebär ad hoc något som skapats utan planering.

I början var tanken bakom ad hoc-nätverk att ansluta flera UE som stod i kommunikation med varandra (detta är också definitionen av ad hoc-nätverk i WiFi baserat på IEEE 802.11-standards). Med andra ord kan endast de UEs som (var) låg nära nog utbyta data. Dessutom har tidigare kända ad hoc-nätverk som stöds i WiFi tänkt att vara mestadels fasta, det vill säga UTs var orörliga.

Eftersom de nya trenderna inom telekombranschen är att tillåta alla användare rörlighet kan nätverkstopologin ändras ofta så att direkt kommunikation med enskilda UEs inte behöver vara finnas hela tiden. Nätverket som stöder ad hoc-topologi tillsammans med användarnas rörlighet kom fram och blev känt som ett mobilt ad hoc-nätverk (MANET). MANETs kännetecknas speciellt av terminalrörligheten (det är därför vi kallar dem "mobila" ad hoc-nätverk) och av flerstegshoppskommunikation. Liksom i fallet med reläer i LTE-A innebär flerstegshopp kommunikation att källan och destination stationer inte behöver stå i direktkontakt. För att skicka data mellan dem, måste paketen måste vidareföras genom flera grannstationer. Jämförelsen av ad hoc-topologi och infrastrukturnät visas i figur 28.



Jämförelsen mellan ad hoc- och infrastrukturtopologi

Fördelarna och nackdelarna med ad hoc-nätverk i jämförelse med infrastruktur nät anges nedan.

+

- Enkelhet i form av nätverksbyggande eftersom det inte finns några centrala noder
- Närvaro av externa nätverk är inte nödvändig
- Lätt att sätta upp och enkelt att installera och konfigurera
- Billig och snabb utplacering där det behövs

-

- UE kan kommunicera bara med andra UE, som ligger inom kommunikationsavstånd (tillämpas endast på enstaka hopp i fasta ad hoc-nätverk baserade på WiFi-standarden)

- Hög interferens (störning) kan genereras (alstras) eftersom UEs använder samma frekvensbandbredd
 - Tåta topologiska förändringar på grund av UEs rörlighet och nödvändigheten att hålla reda på tillgängliga vägar mellan enskilda UEs → höga signaleringsomkostnader (tillämpas endast på MANET)
 - Effektbegränsningar
 - Säkerhetsfrågor och skydd mot olika attacker
-

Ad Hoc och särskilt MANET-nätverk kan användas i många situationer:

- Militär kommunikation och militära operationer
- Räddningstjänster (sök-och räddningsinsatser, katastrofhantering, polisiär verksamhet och brandbekämpning)
- Kommersiella och civila miljöer (tillgång till dynamisk databas, mobila kontor, sport stadion, mässor, etc.)
- Hem- och företagsnätverk (hem/kontor trådlöst nätverk, konferenser, mötesrum, individnivånätverk, byggarbetsplatser etc.)
- Utbildning (universitet och campus, virtuella klassrum)

För att hantera kommunikation i ad hoc-baserade nätverk och att ta itu med de många utmaningarna, måste trådlösa **MAC- (*Medium Access Control*)** protokoll och lämpliga routingprotokoll (om det gäller vid MANET) tillämpas. Dessa kommer att beskrivas i följande kapitel.

6.2 MAC-protokoll

The important issue regarding ad hoc networks is to design suitable MAC protocols, which main purpose is to control the access to radio channel. The main challenge is to avoid collision in transmission and to effectively utilize radio channel. The MAC protocols can be classified into contention-free and contention based:

Den viktiga frågan vad gäller ad hoc-nätverk är att utforma lämpliga MAC-protokoll, vars huvudsakliga syfte är att kontrollera tillträde (access) till radiokanalen. Den största utmaningen är att undvika kollision i en sändning och att effektivt utnyttja radiokanalen. MAC protokoll kan klassificeras som ***contentionsfria och contentionsbaserade***:

- Contentionsfria protokoll där UE inte behöver kämpa för att få tillgång till mediet. I stället någon form av kontrollerad åtkomst, såsom TDMA, FDMA, CDMA, baserad på förfrågan eller pollett, används. Den huvudsakliga fördelen med contentionsfritt tillvägagångssätt är att det inte skapar några kollisioner i överföringen. Följaktligen är dessa MAC-protokoll avsedda att garantera end-to-end-fördröjningen och specifika QoS-krav. Contentionsfria protokoll används, till exempel i Bluetooth-teknik (trådlös teknik) där master-slav MAC-mekanism utnyttjas.
- Contentionsbaserade protokoll inför särskild mekanism där UE måste kämpa för att få tillgång till mediet. I grund och botten är alla contentionsmetoder baserade på ALOHA och Slitsat ALOHA-system. Vid ALOHA, kommer UE åt mediet så snart den har data att sända. Följaktligen, om två UE sänder data samtidigt, inträffar kollision och omsändning måste ske. Även om Slitsad ALOHA delvis löser kollisionens problemen är dess tillämpning (användning) fortfarande alltför begränsad.

De vanligaste tillträden (access) som används i dagens trådlösa nätverk såsom WiFi är baserade på **CSMA** (*Carrier Sensing Multiple Access*). Som namnet antyder, "känner" UE först på mediet innan data skickas. Om mediet används för tillfället, måste UE:n vänta tills mediet är friställt. Om mediet är fritt, sänder UE sina data direkt. För att ytterligare minska risken för kollision, har andra metoder införts, såsom **CSMA-CD** (*CSMA with Collision Detection*) eller **CSMA-CA** (*CSMA with collision avoidance*).

6.3 Routing protokoll

Routingprotokoll (dirigeringsprotokoll) är en byggsten i MANETs och därmed har mängder av routingprotokoll föreslagits med hänsyn till olika mått för val av optimal routingväg. Allmänt omfattar alla routingprotokoll tre grundläggande mekanismer:

- Route discovery (upptäckt) - Syftet med denna mekanism är att hitta den optimala vägen mellan två stationer som utbyter datapaket. Den mest spridda principen bygger på den så kallade översvämningsalgoritmen då källan sänder RREQ- (route begäran) paket. När destinationen tar emot detta paket genererar RREP- (Route Response) paket som skickas tillbaka till källstationen. Den viktigaste frågan är att hitta optimala routing vägar för att minimera omkostnader för signalering
- Route selection - (vägval) Under spaningsrouting kan flera tänkbara vägar hittas. Följaktligen är det viktigaste målet för vägvalsmekanism att välja den mest lämpliga routingvägen. Vägval kan baseras på många mått, såsom länkkapaciteten, antalet hopp längs banan, länkens driftsäkerhet och stabilitet etc.
- Route maintenance (skötsel) - När den rätta vägen väljs, är det nödvändigt att garantera att den kommer att upprätthållas åtminstone så länge som kommunikationen mellan stationerna sker. Ändå, på grund av UTs rörlighet, kan betydande förändringar i nätverkstopologin ske. Således är syftet med denna mekanism att hitta ny routingväg om den tidigare valda inte längre är tillgänglig.

Klassificering av routingprotokoll

Routingprotokoll kan delas in i olika grupper beroende på deras principer och applikationer. De vanligaste routingprotokollen är "topologibaserade" protokoll som väljer rätt väg i enlighet med ändringar i nätverkstopologin. Topologibaserade protokoll kan delas in i:

- Proaktiv (även känd som "tabelldriven") - Huvudprincipen för proaktiva (förebyggande) protokoll är att regelbundet uppdatera information om aktuell nätverkstopologi. All information lagras av enskilda noder i "tabeller", därför kallas dessa "tabelldrivna" protokoll. Fördelen med detta är att när det behövs, är rätt väg redan känd och ingen fördröjning uppkommer genom att hitta optimala dirigeringsvägar. Nackdelen är att betydande signalering genereras för att upprätthålla aktuell information om nätverkstopologin. De proaktiva protokollen är oftast bara applicerbara på små nätverk med låga rörliga UE. De vanligaste proaktiva protokoll är **DBF** (*Distributed Bellman-Ford*), **DSDV** (*Distance Source Distance Vector*), **WRP** (*Wireless Routing Protocol*), eller **OLSR** (*Optimized Link State Routing*).
- Reaktiv (även känd som "on demand") - De reaktiva protokollen upprätthåller inte regelbundet uppgifter om enskilda routingsvägar om inget datautbyte pågår. Vägval aktiveras endast om dataöverföringen är på väg att inledas. På

så sätt sparas knappa radioresurser eftersom signalsystemets omkostnader är låga. Å andra sidan kan det vara tidskrävande att hitta rätt väg när det behövs och hög fördröjning kan uppkomma. Bland de reaktiva protokollen finns, till exempel, **DSR** (*Dynamic Source Routing*), **AODV** (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*), eller **SSR** (*Signal Stability Routing*).

- Hybrid - Dessa protokoll kombinerar fördelarna med proaktiva och reaktiva protokoll. De mest kända hybrid-protokollen är **ZRP** (*Zon Routing Protocol*) eller **ZHLS** (*Zone-based Hierarchical Link State*).

Förutom topologibaserade protokoll, kan den rätta vägen väljas också med hjälp av lägesbaserade (positionsbaserade) routingprotokoll (t.ex. **DREAM** (*Distance Routing Effect Algorithm for mobility*)) eller med hjälp av effekt-protokoll som bevarar UE:s "batteritid" (t.ex. **CPC** (*Cluster Power Control*)).

6.4 Säkerhet

Säkerhetsfrågan är en annan viktig aspekt när det gäller ad hoc-nätverk, eftersom det inte finns någon säkerhetsinfrastruktur. Attackerna mot ad hoc-nätverk kan delas in i två grupper: passiva och aktiva. Medan den förra vanligtvis innebär "passiv" avlyssning orsakar den senare "aktiva" attacker, såsom ändringar eller raderingar av data som utbyts. De vanligaste attackerna i ad hoc-nätverk sammanfattas nedan:

- **DDoS** (*Distributed Denial of Service*) - I de flesta fall en störningsteknik för att inskränka eller störa kommunikation och därmed förhindra att använda nätet.
- Identitetsstöld (Falsk identitet) - Angriparen kan få tillgång till konfigurationssystemet som superanvändare för att därefter komma åt eller till och med förstöra skyddade uppgifter.
- Avslöjande - Angriparen kan få konfidentiell information genom avlyssning och dra nytta av det.
- Routing-attacker - Säker routing är en svår uppgift på grund av nätverkets ad hoc-karaktär då en skadlig (riggad) nod kan komma in i nätverket. Angriparen kan selektivt täppa till kommunikationen (selektiva vidarebefordrade attacker), kassera alla paket (blackhole attack/svartahålet-attack), etc.

Kommunikationen kan anses säkrad om följande garanteras:

- Tillgänglighet - Garantera att kommunikationen inte störs på grund av DDoS attacker.
- Verifiering - Innan användaren får tillgång till en ad hoc-nätverk måste dennes identitet vara ordentligt bestyrkt (skydd mot imitation).
- Sekretess (konfidentialitet) - Datapakets måste skyddas mot varje missbruk.
- Integritet - Det måste garanteras att datauppgifterna inte ändras under överföringen.

De konventionella metoderna som används för att säkra kommunikation i nätverk är symmetriska eller asymmetriska krypteringsnycklar. De asymmetriska metoderna kräver en certifiering, som är svår att använda i nätverk med bristande infrastruktur, såsom ad hoc nätverk. För att ändå garantera säker certifiering i dessa nätverk, har *Teknique for Intrusion Resistant Ad Hoc Routing Algorithm* (**TIARA**) föreslagits. Dessutom har flera säkra routingprotokoll införts för att undvika de farligaste routingattackerna såsom **SRP** (*Secure Routing Protocol*) som bygger på DST eller **SAODV** (*Secure AODV*).

6.5 Teknik som möjliggör ad hoc

Den mest utbredda tekniken för trådlösa ad hoc-nätverk är WiFi baserat på IEEE 802.11 och Bluetooth baserat på IEEE 802,15.

WiFi

WiFi är trådlös nätverksteknologi som används speciellt för **LAN** (*Local Area Network*) över ett litet område (högst hundra meter) och som erbjuder höghastighetsinternet till användare inom hushåll, kontor, köpcentra, etc. Bithastigheterna som uppnås genom WiFi-utrustning beror på den hjälpstandard som finns. De vanligaste bithastigheterna är upp till 54 Mbit per åtkomstpunkt (IEEE 802.11a / IEEE 802.11g) och nyligen upp till 300 Mbps (IEEE 802.11n).

Fördelen med WiFi är speciellt i dess låga kostnader samt att den kan användas licensfritt i ISMs (industri, vetenskapliga och medicinska) frekvensband. För att vara mer specifik, 2,4 GHz- och 5 GHz-banden är oftast avsedda för WiFi.

- 2,4 GHz - För de flesta av Europas länder är 13 kanaler upplåtna, med tilldelad bandbredd som är lika med 22 MHz vid frekvenser mellan 2,4 GHz och 2,484 GHz. Observera att Amerika bara har fått 11 kanaler tilldelade. De angränsande kanalerna är delvis överlappande. Följaktligen kunde endast tre kanaler hittas som inte påverkar (stör) varandra.
- 5 GHz - Bandet är vidare indelat i tre delband:
 - 1. delbandet (5150 - 5250 MHz) - används inne i byggnader
 - 2. delbandet (5250 - 5350 MHz) - används inne i byggnader (Ues måste kunna kontrollera krafteffekten och byta till ett annat band om störningar till radarn förekommer)
 - 3. delbandet (5350 - 5450 MHz) - samma regler som för andra delband tillämpas

Eftersom WiFi är vida spridd teknik blir tilldelade radiokanaler ofta överbelastade. Följaktligen, massor av modifieringar vad gäller bästa möjliga fördelning av radiokanaler och tillgång till denna måste specificeras. Det är därför många versioner av WiFi som hittills har godkänts för att undvika kollisioner och för att förbättra dess kapacitet och förmåga.

All utrustning baserad på IEEE 802,11 testas av **WECA** (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), en organisation som döptes under 2002 på WiFi Alliance. WiFi alliansen testar om utrustningen uppfyller resp. inte uppfyller alla nödvändiga krav.

IEEE 802,11 standard definierar MAC-skiktet som tillsammans med **LLC** (*Logical Link Control*) är en del av det andra skiktet av **RM-OSI** (*Reference Model - Open System Interconnection*). Syftet med MAC-skiktet är att hantera access (tillträde) till radiokanalen, fragmentering och defragmentering av datapaket, specifikationer av kontrollramar, etc. Dessutom WiFi standard anger

flera typer av fysiska lager som skiljer sig, särskilt i olika modulationstekniker (frekvenshoppning, "direct sequence spread spectrum" eller OFDM). Som redan nämnts kan WiFi använda infrastruktur eller ad hoc-topologi (eventuellt också kollektion av nätverk, som det kommer att beskrivas senare).

Bluetooth

Bluetooth är en beteckning på trådlösa korträckviddskommunikationsområden. Dessa kännetecknas av låg sändareffekt och lågt pris. Syftet med Bluetooth är att ersätta fasta metallsammankopplingar av olika elektroniska apparater som mobiltelefoner, headset, bärbara datorer, etc.

Grundläggande överföringshastighet för Bluetooth är 1 Mbps, men denna kan höjas upp till 3 Mbps för version 2.0 med **EDR** (*Enhanced Data Rates*). Dessutom kan hög överföringshastighet upp till 24 Mbps nås med Bluetooth version 3.0 + **HS** (*High Speed*). Denna version gör det möjligt att utnyttja WiFi-band för Bluetooth-kommunikation. Senaste versionen är Bluetooth 4.0 som är fokuserad på att sänka strömförbrukningen. Sålunda är denna version också betecknad som **LE** (*Low Energy*).

I alla versioner av Bluetooth, används **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) för att hantera problemet med störningar och fading (blekning). I FHSS, använder alla enheter ett frekvenshoppande mönster av pseudoslumpmässigt valda bärvågsfrekvenser för sändning av ett paket. Bärfrekvensen är hoppande med en hastighet av 1600 gånger per sekund.

Fysisk lageröverföring av Bluetooth utförs i licensfria frekvensband på 2,4 GHz med bandbredd 83,5 MHz. Närmare bestämt är frekvenser mellan 2400 MHz och 2483,5 MHz upptagna. I grundläggande överföringshastigheten och EDR är bandbredden uppdelad i 79 transmissionskanaler och två skyddsband. Undre och övre skyddsband har 2 resp. 3,5 MHz bandbredd. Både basnivå och EDR använder full duplex och TDD-överföringssystem.



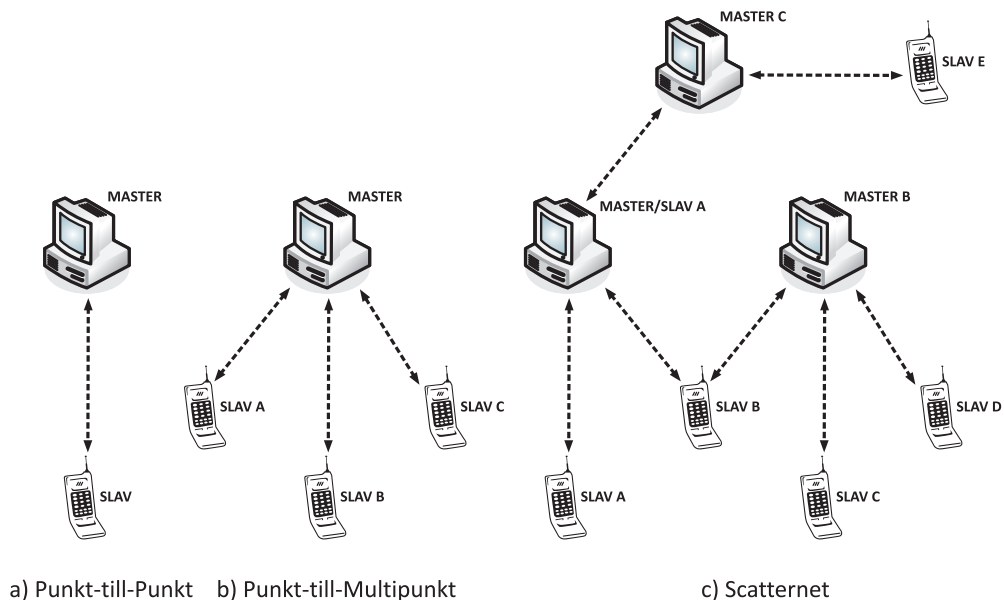
Data moduleras med en binär **GFSK** (*Gaussisk Frequency Shift Keying*) för grundläggande 1 Mbps överföring i Bluetooth version 1.0. För högre bithastigheter i senare versioner är **PSK** (*Phase Shift Keying*) basmodulationer som används. Moduleringen **$\pi/4$ -DQPSK** (*$\pi/4$ Rotated Differential Quadrature Phase Shift Keying*) och **8 DPSK** (*8-phase Differential Phase Shift Keying*) som används i EDR-läget gör det möjligt att nå 2 respektive 3 Mbps. För att nå 24 Mbps, måste så kallad **AMP**- (*Alternate MAC/PHYs*) funktion vara aktiverad. Efter upprättandet av EDR-radiokanal hittar AMP bredare alternativband och skiftar överföringen till detta band.

En annan fysisk kanal och åtkomst till kanalen fastställs för att möjliggöra låg strömförbrukning. I motsats till basnivån och EDR, bara GFSK-modulering behandlas av (beaktas av) Bluetooth LE. Samma bandbredd men med olika delkannalsmönster används. Bandet är uppdelat i 40 kanaler separerade av 2 MHz med 2 och 1,5 MHz i nedre och övre skyddsband. För åtkomst till kanalerna kan antingen TDMA eller FDMA användas. Tre kanaler används för "Annonsering"

och 37 kanaler för datakommunikation. I annonseringskanaler kan enheter ange vad de tänker göra (dvs sätta en anslutning eller förbereda för dataöverföring)

Bluetooth stöder direkt punkt-till-punkt såväl som punkt-till-multipunktkommunikation. Alla kommunicerande enheter som delar samma kanal betecknas (benämns) som en piconet. I varje piconet, är en enhet master till alla andra och de andra enheterna är slavar under mastern. Det är master som sätter igång kommunikationen. Alla slavenheter måste synkroniseras med masters klocka och måste följa samma hoppande mönster som master. Kommunikationen kan endast ske mellan master och slav, men inte mellan två slavenheter. Upp till sju slavar kan vara aktiva i varje piconet för grundläggande datahastighet och EDR. Förutom de sju aktiva enheterna, kan ytterligare upp till 255 icke-kommunicerande enheter (i parkerat tillstånd) också ingå i piconet. I Bluetooth-LE, är antalet aktiva enheter begränsat genom mängden av härskarens radioresurser.

En enhet kan ingå i mer än en piconet. I detta fall överlappar piconets varandra och denna topologi betecknas som scatternet. Scatterneten består av flera piconets samtidigt som varje piconet där innehåller fortfarande endast en masterenhet. Varje enhet kan vara master endast i en piconet i scatternetsramen. I alla andra piconets måste enheten ta över rollen som slav. Därför kan rollen av master och slav kopplas mellan enheter i scatternet för att undvika situationen där en enhet är master i två piconets. Om två delvis överlappende piconets har olika masters, används olika mönster av frekvenshoppande i varje piconet. Därför måste en anordning som deltar i mer än en piconet tillämpa "tidsmultiplexing" och komma åt enskilda piconets en-för-en.



Bluetooth topologi

6.6 Trådlösa sensornätverk

En **WSN** (*Wireless Sensor Network*) består av knutpunkter organiserade i ett kooperativt nätverk och/som använder ad hoc-nätverkstopologi. I grund och botten liknar WSN i många avseende MANET-nätverket. Den främsta orsaken är att både WSN och MANET kännetecknas av egen konfigurationskaraktär, där knutpunkterna är förbundna med hjälp av trådlös anslutning, och kommunikationen mellan dessa möjliggörs genom multihoppsnätverk. Ändå är WSN:s och Manet:s näten olika i flera grundläggande avseenden som visas i tabellen.

Jämförelse mellan MANET och WSN

Aspect /Delar	MANET	WSN
Utnyttjande och tillämplighet	Används av människor för dataöverföring, mobila applikationer, etc.	Inbäddad i miljön, används för datainsamling (t.ex. mätning av temperatur, ekologisk övervakning etc.) och upptäckt av händelser (t.ex. upptäckt av brand, intrångsskydd, etc.)
Enheternas storlek	Handenheter, handdatorer, bärbara datorer	Små sensorer (dvs milimetersmå)
Mängden av knutpunkter i nätet	Upp till tiotals eller upp till hundratal knutpunkter	Upp till tusentals eller mer knutpunkter
Främsta skälet till topologiska förändringar	Användarnas rörlighet	Bortfall av knutpunkten

På samma sätt som i fallet med MANET, är de mest kritiska frågorna kring WSN om ett lämpligt MAC-protokoll och effektiv dirigering av data. MAC-protokoll som tidigare använts i MANET-nätverk är inte lämpliga på grund av WSN:s särdrag. Det huvudsakliga målet är att använda protokoll som förbrukar lite ström, undvika kollisioner och har låga minneskrav.

6.7 Mesh-nät

Mesh-nät är en perspektivtopologi kombinerad med infrastrukturfaktorerna och ad hoc-nätverk. På samma sätt som i infrastrukturnätverk består mesh-nätverk av centrala knutpunkter (t.ex. basstationer, åtkomstpunkter etc.) som tillhandahåller anslutning, t.ex. till Internet. Trots detta är den största skillnaden i jämförelse med cellulära nätverk att i ett mesh-nätverk kan UE ansluta sig till andra UE. Dessa UE kan sedan kommunicera sinsemellan utan inblandning av den centrala knutpunkten. Vid jämförelse med ad hoc och MANET-nätverk, mesh-nätverkstopologin antas vara permanent och individuella knutpunkter i nätverket är oftast fasta. Ändå, mesh-nätverk har också inbyggd paradigm för multihopkommunikation när data kan skickas via ett antal knutpunkter för att nå sin destination. Följaktligen, optimal routingväg (om UE är utanför centralt knutpunktsområdet) måste hittas genom särskilda routingprotokoll på samma sätt som i fallet med MANET eller WSN.

Mesh-nätets topologi stöds i WiFi-teknik av IEEE 802.11s ändring. Medan äldre bakåtkompatibla användarutrustningar (dvs. utrustning som stöder redan befintliga standard som IEEE 802.11a/b/g) kan använda nät, kan de inte tjäna som en mellanliggande knutpunkt mellan UE och åtkomstpunkten (accesspunkten). Dessutom är nätets topologi också övervägd i WiMAX-tekniken baserat på IEEE 802.16d standard där fast topologi förutsätts. Ändå utesluter nyare standard till stöd för rörlighet (IEEE 802.16e/j/m) mesh-nät och endast infrastrukturtopologi används såsom PMP och relä på grund av hög komplexitet i mesh-nätets genomförande.

Fördelarna med mesh-nät är följande:

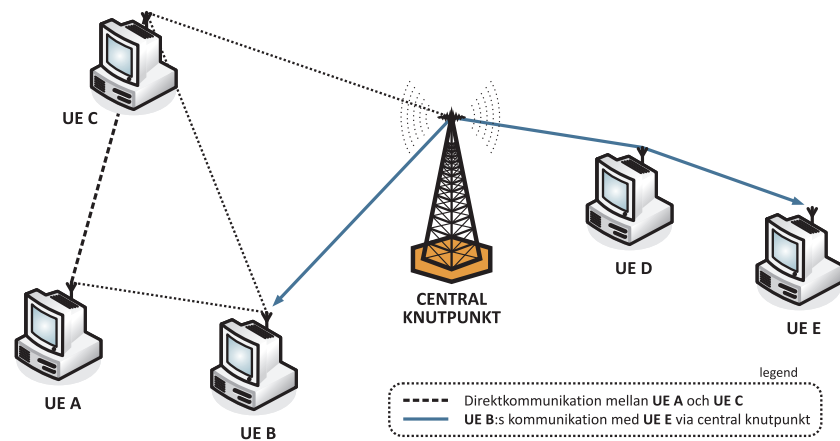
+

- Ökning av täckning eftersom UE utanför åtkomstpunktstäckningen kan ansluta till den med hjälp av sina grannar (dvs. inga ytterligare åtkomstpunkter måste installeras).
- Hög flexibilitet och tillförlitlighet (flera möjliga vägar till åtkomstpunkt) kan hittas.

Nackdelarna med mesh-nät är som följer:

—

- UE kan användas för dataöverföringar från andra UE. Således kommer mellanliggande UE förbruka mer batterikraft.
- Försämring av genomströmningen när samma datainformation överförs mer än en gång mellan källa och destinationsstationen på grund av multihop kommunikation.
- Högre omkostnader än vid infrastrukturnät (det är nödvändigt att upprätthålla tillgängliga rutter).



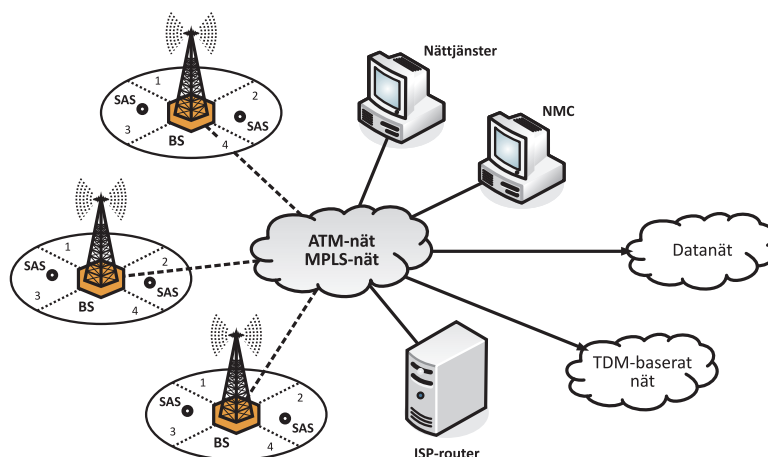
Ett exempel på mask-nätstruktur och kommunikation mellan enskilda stationer

7 Flerpunkts distribution system (Multipoint Distribution Systems)

7.1 Lokal flerpunkts distributions system (LMDS)

En **LMDS** (*Local Multipoint Distributive System*) är en trådlös bredbandstillträdesteknik som ursprungligen utformats för sändning av digital television. Den har utformats som en fast trådlös, från punkt-till-multipunkt-teknik för användning under den sista milen. LMDS fungerar ofta på mikrovågsfrekvenser över hela 26 GHz och 29 GHz band. I USA används också frekvenser från 31,0 till 31,3 GHz.

LMDS systemet bygger på fast trådlös grupper (access) åtkomst till fasta terminalstationer, förkortat **SAS** (*Subscriber Access System*), till BS via radiogränssnitt. SAS är utrustat med riktantenner riktade mot till BS (basstationen).



Nätverksstruktur av LMDS-system



Genomströmningsskapacitet och tillförlitligt avstånd från/av länken beror på det gemensamma/allmänna radiolänksystemets begränsningar och använd moduleringsmetod - antingen PSK eller **AM** (*Amplitude Modulation*). Avståndet är normalt begränsat till ca 2 till 3 km på grund av regn, fading (blekning), dämpning och begränsningar. Utplacering av länkar upp till 8 km från BS är möjligt under vissa omständigheter, som t.ex. från punkt-till-punkt-system som kan nå något längre avstånd på grund av ökad antennförstärkning.



Även om vissa operatörer i Europa använder LMDS-system för att ge tillgång till tjänster mellan olika nät, används LMDS oftare i högkapacitetslänkar för sammankoppling av stamnät såsom GSM, UMTS, WiMAX och Wi-Fi.

Antal BS sektorer och deras fördelning är beroende av antalet accessplatser och på den totala datakapaciteten dirigerad till specifika BS. Fysisk distribution av sektorer är inte av naturen oföränderlig och dess modifiering är förbunden med ökande användning av nätverk. Grundläggande fördelning av territoriet och dess täckning genomförs av två kanaler (A och B) som tvåfrekvens- (dubbla frekvenser) plan.

Man använder dubbla frekvensplan, eftersom det finns stora problem med ömsesidig påverkan mellan olika sektorer. Det finns flera sätt hur man kan minska ömsesidig påverkan (störning). Det första villkoret för detta är den använda inriktningskvaliteten på BS antenner som betjänar en specifik sektor. Det andra villkoret är att SAS parabolantennerna med snäv riktning siktar mot BS i drift. Andra sätt hur man kan minska störningar är fördelningen av olika kanaler för varje sektor av BS eller modifiering av vågpolariseringen i radiosignaler inom vissa specifika sektorer, till horisontell eller vertikal våg.

7.2 Flerkanals och flerpunkts distributions system (MMDS)

MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*), även känd som **BRS** (*Broadband Radio Service*) eller också kallad **Wireless Cable**, är en trådlös telekommunikationsteknik som används främst för bredbandsnät, eller mer allmänt, som en alternativ metod för mottagning av kabel-tv:s program.

MMDS-systemet använder mikrovågsfrekvenser på 2,1 GHz och frekvenser från 2,5 GHz till 2,7 GHz. Mottagning av TV-program respektive datasignaler som levereras av MMDS görs med mikrovågsantenn utplacerad på hustak. Själva antennen är kopplad till en sändare, vilket gör det möjligt att ta emot och sända iväg mikrovågssignalen samt omvandla dessa till frekvenser som är kompatibla med standard för TV-mottagare (ungefär som på satellitantenner där signalerna omvandlas ned till frekvenser mer kompatibla med standarden för kabel-TV). Vissa antenner kan använda en inbyggd transceiver (sändare resp mottagare). Digitala TV-kanaler kan avkodas med en vanlig digitalbox eller direkt av TV-apparater med inbyggda digitala mottagare. Vanliga datasignaler kan tas emot med hjälp av kabelmodem, som stödjer **DOCSIS-** (*Data Over Cable Service Interface Specification*) standard ansluten till samma antenn och transceiver (sändare/mottagare).

Frekvensbandet för MMDS-system är uppdelat i 34 MHz-kanaler, som auktioneras ut som frekvensband för andra distributionssystem. Det grundläggande konceptet är främst fokuserat på hur man genomför sändningar med hög kapacitet av leverantörer genom flera stora distributionskanaler samt hur man multiplexerar dessa i flera tv-och radioprogram, för att senare sända dessa allmänna data till varje kanal med digital teknik. På samma sätt som med digitala kabelkanaler, kan varje kanal överföra upp till 30 Mbit/s med **64-QAM**-modulering respektive 42 Mbps med **256-QAM**-modulation. På grund av **FEC** (*Forward Error Correction*) och andra omkostnader, är den verkliga genomströmningen ungefär 27 Mbps för **64-QAM** och 38 Mbps för **256-QAM**.



Det senaste MMDS-bandet planerar att utarbeta ändringar i kanalstorlek och licensiering för att rymma nya WIMAX TDD på fasta och mobila utrustningar.



LMDS- och MMDS-systemen har anpassat DOCSIS ur specifikationerna för kabelmodem. Versionen av DOCSIS modifierades för trådlöst bredband som DOCSIS +.

Robusthet i datatransporter åstadkoms enligt MMDS genom kryptering av trafikflöden mellan trådlösa bredbands modemmet och **WMTS** (*Wireless Modem Termination System*) som ligger i leverantörens basstationensnätverk och utnyttjar **Triple DES** (*Triple Data Encryption Standard*)



MMDS-systemet ger betydligt större räckvidd än LMDS-system. MMDS-systemet kan bli föråldrat på grund av det nyare 802,16 WiMAX som godkändes 2004. MMDS-systemet har ibland utökats till *Multipoint Microwave Distribution System* eller *Multipoint Microwave Distribution System*. Alla tre fraserna hänvisar till i princip samma teknik.

8 Platsbaserade tjänster

8.1 Platsbaserade tjänster

Kunskapen om användarnas geografiska läge gör det möjligt att utnyttja nya tjänster på områden av nödhjälp, hälsa, underhållning eller arbete. Den geografiska placeringen av användaren representeras av användarens rumsliga koordinater.



En tjänst som utnyttjar geografisk information för att tjäna en användare är **LBS** (*Location Based Services*).

Ett exempel på positionsbaserade tjänster är en navigeringstjänst, spårning av personer eller fön. ordon (t.ex. Latitude), "geocaching" eller en turistguide. En annan viktig tillämpning av LBS är att hitta till nödfallsplatsen (t.ex. läget för bilolycka, skadade, osv.) I detta fall kan läget av den person som skall ha hjälp ske automatiskt och hjälpen som behövs kan skickas till platsen utan att användaren behöver ingripa.

LBS:s koncept kräver struktur bestående av fem olika typer av utrustning:

- Användaranordning - tillhandahåller gränssnitt mellan en användare och LBS-systemet. Användarenheten är oftast en mobil utrustning såsom mobiltelefon, bärbar dator, läsplattan, navigator (navigationsenhet), etc.
- Kommunikationsnät - ansvarar för leverans av användarens data och förfrågningar från användarens enhet till tjänsteleverantören och återleverans av den erhållna informationen från systemet till användaren.
- Plats komponent (positionering) - denna bestämmer användarens geografiska läge.
- LBS-leverantör – denna erbjuder tjänster till användarna och är ansvarig för behandlingen av användarens önskemål.
- Innehållsleverantör: Förser LBS-leverantören med ett innehåll som inte lagras av LBS-leverantören, det kan vara till exempel kartans ursprung, ställning av föremål, information om objekten, information om kollektivtrafik, etc.

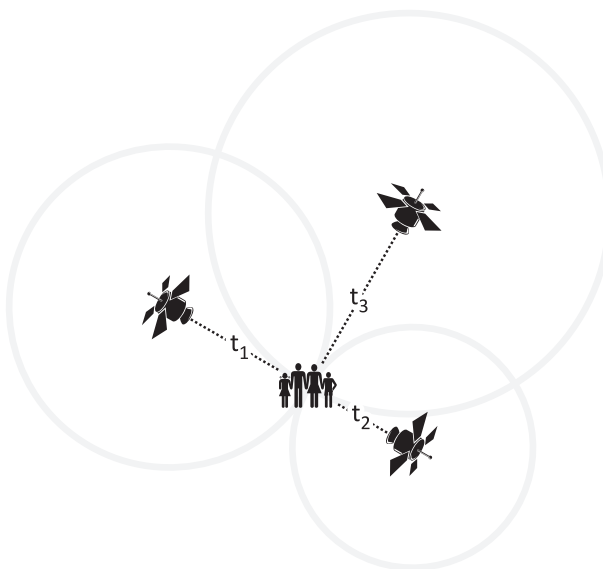
För effektiv och lönsam exploatering av LBS, är fastställandet av läget med hjälp av "Location" en avgörande fråga. Utan exakt plats, skulle LBS-tjänstens användbarhet begränsas. Lägesbestämning kan erhållas genom flera sätt. Det vanligaste sättet är att använda antingen ett satellitpositioneringssystem eller ett mobilnät. Båda tillvägagångssätten beskrivs i de följande avsnitten.

8.2 Satellite positionering systems



Möjligheten att använda satelliter för lägesbestämning har upptäckts av ett team lett av Dr Richard B. Kershner vid övervakning av radiosändningar av den första satelliten - Sputnik. Teamet observerade att frekvensen hos den utsända signalen ändrades till följd av dopplereffekt när satelliten rör sig. Baserat på dessa frekvensers förändringar, kunde de bestämma positionen för satelliten. Då man vänder på detta tillvägagångssätt genom att känna till satellitpositionen gör att platsen för användare eller föremål blir kända.

Satellitesystemet för bestämning av positioner är baserat på mätning av utbredningstiden (spridningstiden) för en signal som sänds av satelliterna. Utbredningstiden (spridningstidentiden), t , omvandlas till avståndet, s , mellan satelliten och användaren enligt formel $s = c * t$, där c är ljushastigheten i vakuum ($3 \cdot 10^8$ meter per sekund). Känner man till satellitens position och tidpunkten för utbredningen (spridningen), kan en exakt position bestämmas som en sfär av punkter belägna på samma avstånd från satellitpositionen. Detta betyder att varje satellit gör det möjligt att bestämma en sfär av potentiella platser för användaren. Den exakta positionen för ett objekt definieras av fyra parametrar: latitud, longitud, höjd och tid. För härledning (beräkning) av alla fyra parametrarna måste fyra sfärer vara kända. Användarplatsen utgörs av skärningspunkten mellan alla fyra sfärer. I idealfallet utan fel i uppskattningen av avståndet mellan satelliten och användaren, alla sfärer skär varandra i en punkt. Om avståndet inte är härledd exakt definierar skärningspunkten mellan fyra sfärer ett område av potentiella platser för användaren. Storleken på detta område är proportionellt mot de fel som infördes genom avståndsmätning och den kan minskas genom att beakta information från flera satelliter.



Principen för fastställande av användarens läge

Denna allmänna princip utnyttjas av de vanligaste navigationssystemen som amerikanska GPS-systemet, europeiska systemet Galileo, ryska Glonass-systemet, eller kinesiska KOMPASS.

GPS

GPS är ett globalt system för satellitnavigering som utvecklades av USA: s försvarsdepartement för militära ändamål. GPS-projektet startade 1973, och den första experimentella satelliten sköt upp 1978. Nu tillhandahåller GPS positionsbestämning, navigering och tidsmätning inte bara för militärt utan också för civilt bruk runt om i världen. Den består av tre segment(delar): rymd-, styrning- och användarsegment.

- Rymdsegment: rymdsegmentet består av minst 24 satelliter som flyger omkring 20.200 km ovanför jorden med omloppstid på 11 timmar och 58 minuter. Satelliterna är utplacerade i sex banor med lutning på 55 °. Det minsta antalet satelliter kommer från villkor att synliggöra minst fyra satelliter från varje punkt på jorden. Dessa ytterligare satelliter kan öka noggrannheten hos systemet. Under 2011 har den tidigare konstellationen av satelliter förändras något i syfte att förbättra täckningen och tre satelliter till inkluderades i den grundläggande konstellation av 24 satelliter. Detta betyder att 27 satelliter numera betraktas som en standardkonfiguration. Under senare år har det funnits 31 aktivt verksamma satelliter och tre eller fyra extra satelliter som flyger runt jorden. Alla satelliter sänder signaler med information som krävs för härledning (beräkning) av användarens position.
- Kontrollsegment: Kontrollsegmentet har skapats av markanläggningar för övervakning, styrning och hantering av rymdsegmentets satelliter. Kärnan i styrsystemet är en styrstation, i Colorado i USA. Denna huvudstyrstation är ansvarig för hantering av alla kontrollförfaranden. För att undvika att systemet stängs i händelse av fel i huvudstyrstationen är en reservstation placerad i Kalifornien. Huvudstyrstation tar emot och analyserar information från satelliter (t.ex. statusinformation, översänd navigeringsinformation, etc.) samt navigering information från 16 övervakningsmarkstationer. Dessa stationer övervakar navigering av satelliter och spårar satelliterna. Baserat på den insamlade informationen, skickar huvudstyrstationen kommandon till satelliter för att säkerställa korrekta och tillförlitliga tjänster (t.ex. för att ändra satellitpositionen). Dessa kommandon, information till satelliterna, eller andra data skickas via markantenner. Detta styrsystem består av 12 markantenner utplacerade inte bara i Amerika utan också över hela världen.
- Användarsegment: Användarsegmentet representeras av en GPS-mottagare, som bearbetar information från satelliter. GPS-mottagaren innehåller ett GPS-chip med radiodel, digital signalprocessor, minne, styrdelen, och mottagande enhetens gränssnitt. GPS ger bearbetad navigeringsinformation till den mottagande enheten i form av **NMEA-** (*National Marine Electronics Association*) protokoll.

Satelliterna sänder tre olikactyper av signaler. Den första, P (precision kod), är en krypterad kod med 10,23 MHz pseudoslumpmässig kodsekvens. Denna kan ersättas av en andra betecknad som Y-kod, då behovet av "anti-spoofing"-

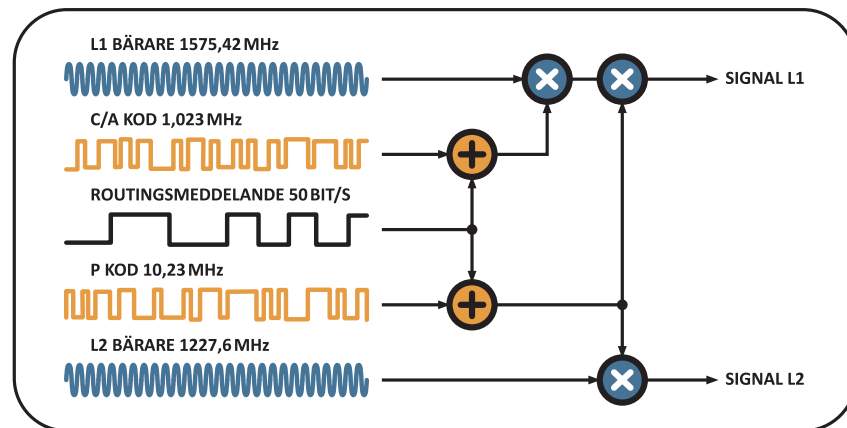
(förfälskning) sändningsteknik uppstår. Den sista är C/A (grov/ förvärvs kod) som används för civila ändamål eller för anskaffning av P (Y)-koder. C/A är sammansatt av 1,023 MHz pseudoslumpmässig icke-krypterad sekvens. Navigeringsinformation, dvs meddelandet med information för bestämning av användarnas position, överförs med en hastighet av 50 bps och den läggs till (sätts ihop med) C/A-koden och P (Y)-koden. Dessa båda sekvenser moduleras till så kallad L1 bärvåg vid 1575,45 MHz. Därefter sekvensen som är följden av sammanslagning av navigeringsinformation med P (Y)-koden moduleras till L1 och dessutom till L2 bärvåg vid 1227,6 MHz. Båda meddelanden L1 och L2 sänds sedan till användarnas GPS-mottagare. Dessutom kan ytterligare signaler L2C (1227 MHz), L5 (1176 MHz), och L1C (1575 MHz) överföras (sändas) för att minimera positioneringsfel för kommersiella tjänster, respektive Safety-of-life (nöd tjänster) och interoperabilitet (vid samverkan) med andra system. Eftersom alla satelliter sänder på samma bärvågsfrekvens, CDMA-multipel (access) åtkomstteknik anses möjliggöra mottagning av signal(er) från fler satelliter.



Den övergripande navigeringsinformationen sänds i ramar med 1500 bitars längd. Varje ram består av fem delramar som innehåller olika typer av information såsom satellitposition och tillstånd, klockkorrigering, jonosfärisk fördröjningseffekt, konstellationsstatus eller information om satellitbanor. Att sända hela navigeringsinformationen tar 30 sekunder (1500 bitar sänds med 50 bps).

Eftersom den tid som krävs för leverans av komplett information om alla satelliter är för lång (dvs. den tid då enheten slås på (enhetens tillslag) och fastställande av användarens position), kan ett mobilt kommunikationsnät utnyttjas i kombination med satellitnavigationssystem för leverans av en del av information genom att använda mobilnätet i stället för konventionell leverans direkt via satellit. Detta tillvägagångssätt kallas Assisted GPS. På detta sätt, kan processen för GPS-igångsättning påskyndas.

Noggrannheten hos positioneringen påverkas av flera aspekter: genom mätning av signalens ankomsttid, atmosfäriska effekter (särskilt jonosfäriska effekter), flervägsutbredning, satellitpositions uppdateringar, klocksynchronisering och mängden av synliga satelliter. Det mest betydande felet kommer till genom jonosfären, detta kan dock minimeras genom att beakta flera signaler (t.ex. L1 och L2) eftersom en effekt av jonosfären påverkar individuella frekvenser olika. Det samlade felet är i storleksordningen upp till 8 meter vad gäller GPS. Noggrannheten kan förbättras ytterligare genom differentiell GPS med hjälp av knutpunkter på marken med exakt definierat läge för just den position som härrör från satelliter.



Sända signaler via GPS-satelliter

Galileo

Det europeiska alternativet till GPS är Galileo. I rymdsegmentet kommer 27 operativa och 3 extra satelliter placeras i tre omloppsbanor med lutning 56 °. Höjden av satelliterna kommer att vara 23 222 km ovanför jorden med omloppstid på 14 timmar. Styrsegmentet består av två driftcentraler en i Oberpfaffenhofen, Tyskland, den andra i Fucino, Italien. Vidare, kommer det att finnas två **LEOP**- (*Lounch and Early Operations*) centra, en i Toulouse, Frankrike, och en i Darmstadt, Tyskland. Analogt till GPS, kommer även 5 telemetri-, spårning- och kontrollstationer, 40 sensorstationer och 10 upplänkstationer för övervakning och styrning av satelliterna att användas över hela världen.

Satelliterna, som i GPS sänder flera navigationssignaler (som har beteckning: E1, E5a, E5b, E6). Den första signalen, E1, bär 1,023 MHz okrypterade streckkoder och datanavigering modulerad vid 1575,42 MHz. Denna signal med 125 bps hastighet är tillgänglig för civil användning (betecknas som Öppna tjänster), kommersiella tjänster och nöd-tjänster. Den andra och tredje signal, E5a och E5b, är analog till (motsvarar) E1, men E5a moduleras till 1176,450 MHz och E5b till 1207,140 Mhz. Båda två är av 10,23 MHz kodsekvens. Signalen E5a bär data för navigering och synkroniseringsfunktioner (timing). I motsats till E1 och E5b använder E5a kraftigare modulering och således stöds endast hastigheten på 25 bps. E5a är endast tillgängligt för öppna tjänster. Den sista signalen, E6, är avsedd för kommersiella ändamål och är sålunda krypterad. Denna signal uppbärs vid 1278.750 MHz med 5,115 MHz kodsekvens med bithastigheter på 500 bps.

Andra navigationssystem

Principen om fastställande av användarens position är densamma även för andra navigationssystem som:

- **GLONASS** (*GLObalnaja NAVigacionnaja Sputnikovaja Sistema*) - Systemet förutsätter 26 satelliter som utplaceras över tre omloppsbanor i full konstellation. Ett intressant faktum är att systemet inte ursprungligen var inte kompatibelt med GPS eller Galileo på grund av användning av FDM, dvs varje

satellit sänder på olika frekvenser. Men från 2011, stöder Glonass även CDMA-signaler för kompatibilitets ändamål. Detta system finns i Ryssland.

- COMPASS, även känd som Beidou 2, är ett kinesisk navigationssystem, som för närvarande utvecklas för nationella ändamål, men förväntas utökas till ett världsomspännande navigeringssystem (med 35 satelliter) nästa år.
- **IRNSS** (*Indian Regional Navigational Satellite System*), består av 7 satelliter i ett rymd- segment, 3 i geostationär bana och 4 i geosynkron omloppsbana för att täcka den indiska subkontinenten.

8.3 Lägesbestämning med hjälp av mobila nätverk

De mobila näten möjliggör att uppskatta användarens position med hjälp av kunskap om basstationernas positioner. Flera metoder för platsbestämning som utnyttjar mobila kommunikationsnät kan urskiljas. Dessa metoder skiljer sig beroende på parametrar som används för att härleda positionen.

Första sättet kallas *Cell Of Origin (COO)*. Det utnyttjar en identifiering av basstationerna (Cell-ID) för härledning av användarens läge. Användarens position motsvarar koordinaterna för dess betjänande basstation. Naturligtvis är ett fel i härledd position lika med cellens radie.

Högre noggrannhet uppnås genom *Time of Arrival (TOA)*, vilket utnyttjar inte bara cell-ID, utan också förmåga att mäta en fördröjning mellan sändning av en signal från en mobil station och dess mottagning av en basstation. Eftersom signalen fortplantas med ljusets hastighet, kan avståndet för användaren från basstationen enkelt räknas ut på samma sätt som görs i satellitsystem.

Om signal tas emot från mer än en basstation, kan TOA utsträckas till *Time Difference of Arrival (TDOA)*. I detta fall jämförs signalens utbredningstid från alla angränsande basstationer och användarens positionen erhålls som en skärningspunkt av beräknade avstånd från varje basstation. I TDOA, är tiden för ankomst bearbetat av nätverket. Om en mobil station är ansvarig för databehandlingen är algoritmen betecknad som *Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)*. E-OTD kräver speciell utrustning, *Location Measurement Unit (LMU)*, i nätet. LMU säkerställer korrekt tajming och riktigheten av datauppgifter.

Om riktade antenner används antingen i basstationen eller mobilstationen, kan en riktning från vilken signalen mottas trianguleras på liknande sätt som i TDOA. Denna metod betecknas som *Angle of Arrival (AOA)*.

9 Framtida trender inom mobilkommunikationen

Framtida mobila nätverk antas att finna nya metoder och algoritmer för att möjliggöra ännu högre bithastigheter samt att säkerställa fullständig och smidig mobilitet. Därför bör den nå högre spektral effektivitet genom samarbete mellan cellerna. Det förväntas att framtida mobilnät kommer att placeras tätare och cellerna kommer att få låg radie, särskilt i tätbefolkade områden. För att maximera nytta av tät utbyggnad av celler, bör dessa celler vara sammankopplade med höghastighetsuppkoppling till optisk fiber för att undvika flaskhalsar i den trådbundna delen. De framtida nätverk lutar mot heterogenitet. Terminaler skall kunna nyttja signaler från olika teknologier. Ändå kommer inte ens mycket avancerade radio sändningsteknik kunna uppnå användarnas krav. Således även bandbredd måste få större kapacitet. Detta stöder utvecklingen av samlade spektrum av metoder mellan fragmenterad (uppsplittrat) spektrum och kognitiv radios tillvägagångssätt. För att spara radioresurser, direkt kommunikation mellan användare bör säkerställas genom framtida mobilnät. En annan aspekt som drar allt mer uppmärksamhet är energieffektivitet. Målet för de framtida mobila näten ska bli mer miljövänligt och även minskat strömförbrukningen. För detta ändamål skall nätverket innehålla enheter för intelligent distribution av radioresurser för att spara energi mer effektivt.