



Lobformning ökar kapaciteten i mobilnäten

Maxima och minima i antennloben styr kapaciteten



Av Victor Fernandez, Anritsu

Victor Fernandez har en examen i telekommunikation från universitetet i Malaga, Spanien. Han har specialiserat sig på högfrekvenssystem inklusive rf- och optokommunikation. Efter en kort sejour på Airbus Military började han på Anritsu i fjol där han ingår i det tekniska supportteamet som hjälper kunderna med testning av trådlösa kommunikationsprodukter.

Före 2014 var de flesta LTE-system som byggdes runt om i världen av typen frekvensdelning (FD-LTE). Det var först 2014 som den andra typen av LTE, tidsdelning (TD-LTE), på allvar började uppmärksammas av mobilindustrin. En av de stora fördelarna med TD-LTE är dess möjlighet att hantera lobformning, det vill säga sändarantennerna med smala, riktade lobber.

Denna typ av antenner ger nätoperatörerna viktiga fördelar i och med att de gör det möjligt att använda infrastrukturen mer flexibelt och effektivt. I vissa fall ger det också bättre kvalitet för kunderna.

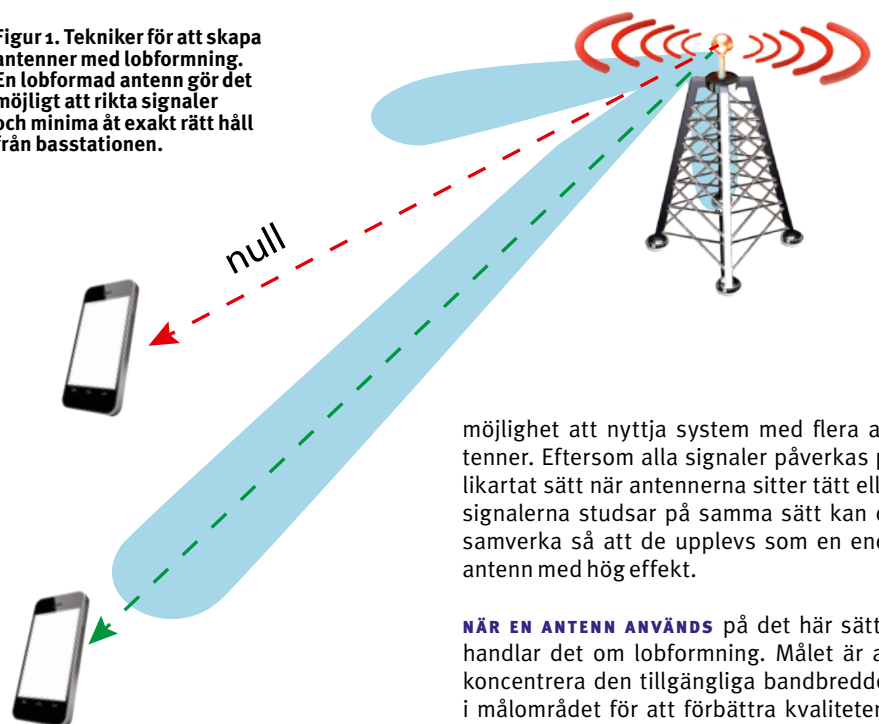
Det här betyder att både tillverkare och användare av antenner och basstationer (BTS) håller på att utforska nya sätt att utveckla, tillverka, installera och använda antenner med lobformning.

RADIOACCESSTEKNIKEN i moderna nätverk baseras i hög utsträckning på olika system med multipla antenner för att höja data takten eller för att förbättra kvaliteten hos användarna som befinner sig i kanten av cellerna. Dessa system med multipla antenner kan vara av typen MIMO (multiple-input, multiple-output), av typen SIMO (single-input, multiple-output) eller av typen MISO (multiple-input, single-output).

I en basstation kan ett system med flera antenner användas för att skicka signalerna med två helt olika syften. Det är vanligt att de här teknikerna blandas ihop.

Ett sätt att använda flera antenner är att skicka olika dataströmmar genom var och en av antennerna. Det är möjligt när det

Figur 1. Tekniker för att skapa antenner med lobformning. En lobformad antenn gör det möjligt att rikta signaler och minimera åt exakt rätt håll från basstationen.



föreligger en låg grad av korrelation mellan de olika transmissionsvägarna, till exempel när sändaren befinner sig i en miljö som tenderar att sprida radiovågorna, vilket får dataströmmarna att gå olika vägar till mottagaren. I det här fallet ser mottagaren varje antenn som en individuell signalkälla och kan skilja på de olika dataströmmarna. Effekten blir att data takten ökar. Tekniken kallas spatiell, eller rumslig, diversitet.

När alla transmissionsvägar är nära korrelerade uppstår en annan (deleted typ av

möjlighet att nyttja system med flera antenner. Eftersom alla signaler påverkas på likartat sätt när antennerna sitter tätt eller signalerna studsar på samma sätt kan de samverka så att de upplevs som en enda antenn med hög effekt.

NÄR EN ANTENN ANVÄNDS på det här sättet handlar det om lobformning. Målet är att koncentrera den tillgängliga bandbredden i målområdet för att förbättra kvaliteten i överföringen eller förhållandet mellan signal och störare plus brus (SINR).

FD-LTE kan nyttja system med flera antenner för spatiell multiplexering mycket effektivt eftersom de olika bärvågorna som används, exempelvis ortogonal frekvensmultiplexering (OFDM) kan matchas perfekt för den här typen av arkitektur.

TD-LTE å andra sidan kan dra stor nytta av lobformning eftersom upp- och nedlänk körs med tidsduplex. Än viktigare är att de utsända och mottagna signalerna har samma frekvens.



Figur 2. Uppställning för experiment med lobformning baserat på Anritsus tvåkanaliga signalgenerator MG3710A och två enkla dipolantennor med en längd på 160 mm.

Teknik för lobformning med antenner är viktiga för utbyggnaden av nät med TD-LTE men förväntas också spela en viktig roll i infrastrukturen i de framtida 5G-näten som kombinerar förbättrad LTE med nya tekniker för radioaccess.

Det här beror på kraven att klara förtäning av nätverken, det vill säga utbyggnaden av små celler med en enda bärvåg som betjänar små områden med många användare. Det här uppnås genom att implementera så kallad massiv MIMO.

EN ANTENN MED LOBFORMNING kan skapas antingen mekaniskt eller elektriskt. Den mekaniska metoden kräver en fysisk åtgärd för att ändra antennernas positioner och riktningar för att vara säkra på att alla sändningar är i fas eller korrelerade hos mottagaren. Det är visserligen enkelt att begripa men svårt att göra det praktiskt i fält eftersom man ofta och mycket noggrant måste ändra positionen och riktningen på loben vartefter mottagaren eller störande objekt förflyttar sig. Dessutom kräver den meka-

niska metoden att man har antenner med ett mycket exakt strålningsdiagram som karakteriseras av en smal huvudlob för att inte sprida rf-effekten och dessutom kunna beräkna den nödvändiga förflyttningen av antennen.

Som tur är kan lobformning implementeras elektroniskt med fasta antenner. En elektronisk styrning av antennmatrixens antennlob går att göra genom att två eller flera identiska antenner konfigureras så att de uppför sig som en enda antenn med ett känt antenndiagram.

ANTENNDIAGRAMMET bestäms av vilken typ av antenner som används i matrisen, deras positioner relativt varandra liksom amplitud och fas i den signal som matas till varje antennelement. Det här gör det möjligt att via en intern återkoppling förändra antennloben under drift. Förmågan att dynamiskt ändra riktning och form på antennloben ger stora fördelar för nätverksoperatörerna eftersom de kan öka effektiviteten och flexibiliteten i sina nät.

Ta som exempel ett gleset befolkat område med en normal basstation som har stor yttäckning. Om det bara finns en användare i cellen kommer större delen av den utsända effekten att slösas bort. Å andra sidan medför en lobstyrd antenn att all effekt kan riktas mot den ensamma användaren vilket ger en starkare signal och därmed högre datahastighet och bättre kvalitet på tjänsten.

På samma sätt kan man vid exempelvis en utomhuskonsert eller på en sportarena som har många men tillfälliga mobilanvändare tillfälligt rikta en antennlob dit för att nyttja den tillgängliga bandbredden så bra som möjligt.

En basstation – sett ur andra nätverks-elements synvinkel – är en SISO-antenn som kan forma loben om den interna strukturen består av en fasstyrd antennmatrix. Tekniken är inte ny men möjligheten att använda den i mobilnät har uppkommit på grund av radiokarakteristiken i nedlänken i kombination med den avancerade signalbehandling som finns i moderna mobiler.

ANTA ATT $s(t)$ är den signal som ska skickas via en fasstyrd matris med M element. Varje element i matrisen matas med samma signal vars fas modifieras inkrementellt och kanske också viktas för varje element. Det kan uttryckas på följande sätt:

- där $y(t)$ är den kompletta signalen som ska sändas medan w^H är vektorn med viktning (relativ amplitud) och $a(\theta)$ är styrvektorn.

Formeln för att beräkna styrvektorn är: Vektorerna för viktning och styrning kan justeras dynamiskt för att ge bäst signal till en specifik användare. Att beräkna vektorerna är ett viktigt steg för att skapa lobformade antenner i ett LTE-system. En effektiv kombination av styr- och viktningsektorer gör det möjligt för operatören att både rikta signalen mot användaren och samtidigt rikta minima/motsignaler mot kända störare.

$$a(\theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\theta} \\ e^{-j2\theta} \\ \vdots \\ e^{-j(M-1)\theta} \end{bmatrix}$$

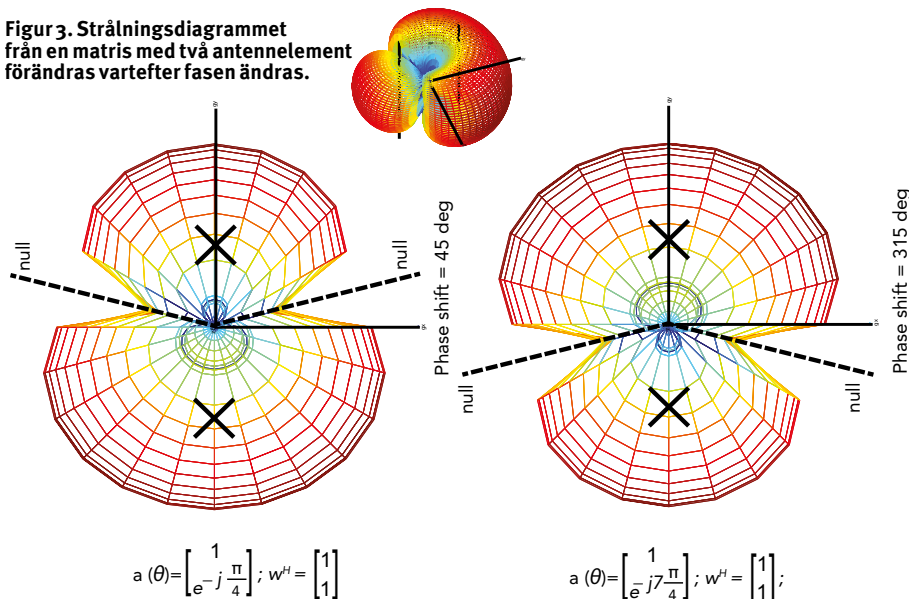
Att beräkna vektorerna är ett viktigt steg för att skapa lobformade antenner i ett LTE-system. En effektiv kombination av styr- och viktningsektorer gör det möjligt för operatören att både rikta signalen mot användaren och samtidigt rikta minima/motsignaler mot kända störare.

DET FINNS SÅ KLART inte någon perfekt balans mellan viktningsektorer, styrvektorer, nätverket måste hela tiden sträva efter en effektiv kombination av signaler som skickas till olika användare och samtidigt skapa minima som adresserar en eller flera störare.

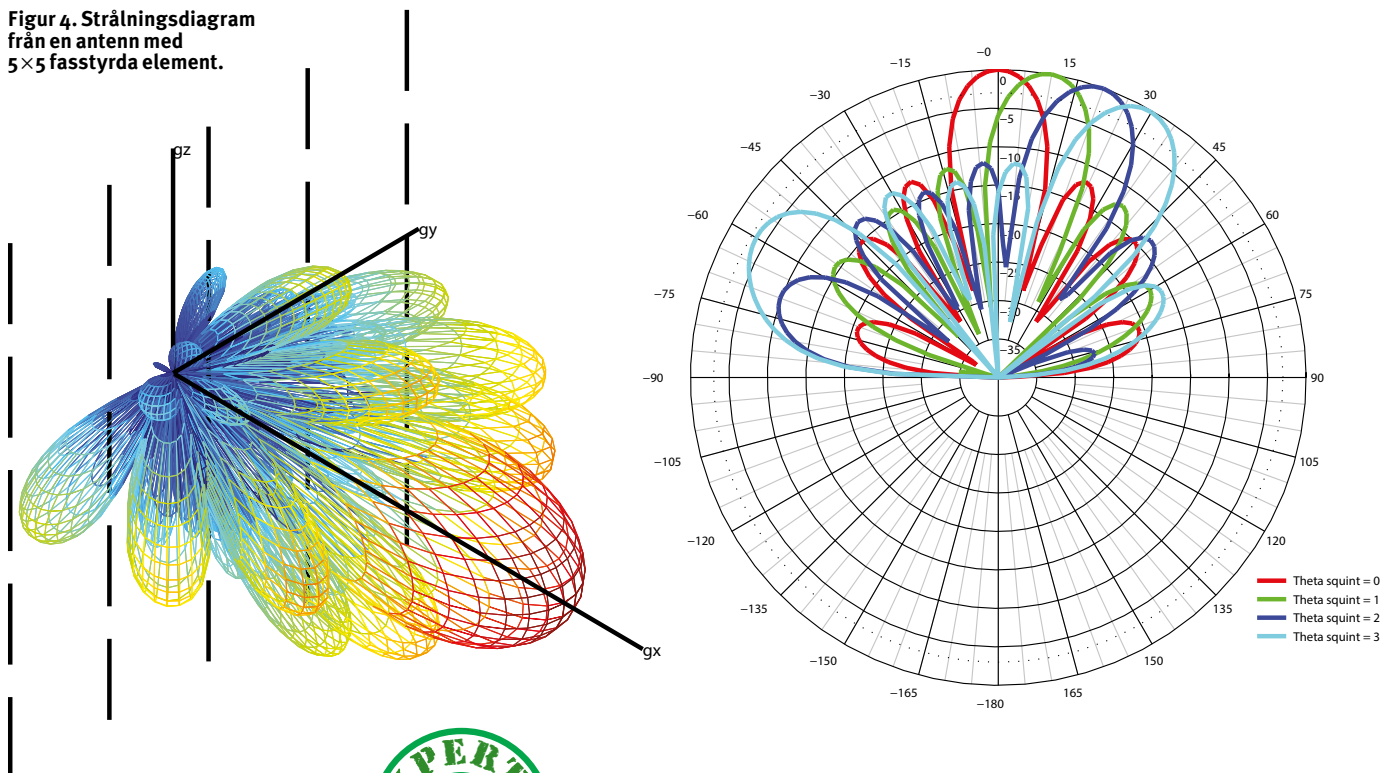
Det har utvecklats ett flertal algoritmer som kan användas av nätverkskontrollern för att beräkna de bästa viktningarna för lobformning. I en metod som är särskilt lämpligt för riktantennor med ett avstånd på en halv våglängd eller mindre används riktningen på den mottagna signalen i upplänken för att beräkna viktningarna.

TD-LTE använder en annan metod ba- ▶

Figur 3. Strålningsdiagrammet från en matris med två antennelement förändras vartefter faser ändras.



Figur 4. Strålningsdiagram från en antenn med 5x5 fasstyrda element.



serad på kanalestimering eller SINR-rapporter från användarens mobil. Eftersom upp- och nedlänk går på samma frekvens i ett TD-LTE-system kan upplänkens referenssignal användas för att estimeras kanalens karakteristik. Dessa data kan sedan användas för att beräkna viktningarna för lobformningen i nedlänken. Kapabiliteten i 3GPP-nät att stödja lobformning visas i tabell 1.

Stöd för lobformning i 3GPP

7 **Enlagers lobformning.** Kanalestimering baserad på referenssignaler från användarterminalen.

8 **Tvålayers lobformning.** Basstationen viktar två individuella lager i antennen. Referenssignaler från användarterminalen används.

9 **Åttalayers transmission** ger förbättrad lobformning och kan användas för att betjäna flera samtidiga användare eller en användare med mer än en lob.

ETT FÖRSTA EXPERIMENT i labbet med lobformning kan ske snabbt och enkelt genom att använda två antenner och en signalgenerator. En signalgenerator som Anritsus MG3710A passar bra för uppgiften. Instrumentet har två utgångar som sitter 7,3 centimeter ifrån varandra. Om man antar att antennelementen i matrisen är separerade mindre än en halv våglängd ($\leq \lambda/2$) ifrån varandra – för viktning av signalen baserad på avståndet till mottagarutrustningen – är

den minsta våglängd som kan användas 14,6 centimeter. Det ger en maximal frekvens på 2,05 GHz vilket innebär att det är fritt fram att experimentera på LTE-bandet runt 1,9 GHz.

MG3710A kan ladda in och spara två vågformer med samma amplitud men med olika fas eller viktning. För att skapa vågformen kan man till exempel använda Matlab. När MG3710A skickar olika signaler i de två utgångarna skapas en styrd antennlob.

Fördelen med att använda ett verktyg som Matlab är att det gör det möjligt för användaren att beräkna strålningsdiagrammet som skapas. Det rundstrålade antenndiagrammet från en enkel dipolantenn blir smalare när det ingår i en matris med två element. Genom att mata antennerna med signaler med samma amplitud men med olika fas blir det möjligt att styra loben i en specifik riktning.

Den här laboratorieuppställningen med

signalgeneratoren MG3710A visar på den grundläggande funktionen hos en fasstyrd antenn med två element. Genom att addera fler antennelement kommer antennen att få en smalare lob där energin riktas mot det önskade området.

STRÅLNINGSDIAGRAMMET från en antenn med 5x5 element är mycket komplexare än det från en antenn med två element som visas i figur tre. I det vänstra diagrammet syns det tredimensionella strålningsdiagrammet när alla element i matrisen matas med signaler som har samma fas. Det högra diagrammet visar effekterna av att ändra faser mellan elementen vilket flyttar loben i horisontalplanet samtidigt som det skapar flera lober. Det kommer också att bidra till att skapa minima och att rikta huvudloben i en viss riktning.

Det här visar att införandet av lobformning i ett mobilnät kan öka kapaciteten genom att rikta signalen åt det håll där den mest behövs. Jämfört med konventionella, yttäckande basstationer kan lobformade antenner bidra till att reducera interferens och flervägsutbredning, ge bättre täckning i valda områden och öka flexibiliteten. Styrningen av dessa antenner med många element blir oundvikligen komplex även om de grundläggande teknikerna för att styra loben från en antenn med två element framgår av den här artikeln. ■

Transmission modes	Support for beam-forming
7	One-layer beam-forming, using channel estimation based on UE-specific reference signals.
8	Dual-layer beam-forming – the BTS weights two layers individually at the antennas. UE-specific reference signals are used.
9	Eight-layer transmission gives enhanced beam-forming performance, suitable for serving multiple users at the same time, or a single user with more than one beam.

Tabell 1. Stöd för lobformning i olika 3GPP-revisioner.