



Mot 6G

– nästa generations mobilstandard



Möjligheten att kunna erbjuda stora sammanhängande frekvensband för att möta efterfrågan på extremt höga dataöverföringshastigheter, upp till flera terabit per sekund, kommer att driva fram nästa generations mobilstandard – 6G. Innan den har bevisats öppnar de landstäckande 5G-näten redan dörren för nya applikationer som Industri 4.0 med förbättrat mobilt bredband, ultratillförlitlig kommunikation med låg latens och massiv maskinkommunikation.

Den kommersiella starten för 6G förväntas ske omkring år 2030. Då blir det möjligt för operatörerna att erbjuda helt nya tjänster inklusive holografiska applikationer, utvidgade verkligheter och digitala tvillingar. Detta innebär extrema krav på dataöverföringshastighet och fördröjning. 6G kommer att vara en kombination av evolutionär utveckling av tidigare generationers mobilnät och andra tekniker som är omvälvande och kan frigöra potential bortom Shannons gränser.

Användningsfall och KPI

Det är svårt att förutse vilka tillämpningar och användningsområden som kommer att bli de främsta drivkrafterna för nästa generations trådlösa standard och som i sin tur kommer att forma systemkraven (KPI:er) och teknik kommer att användas i 6G. Visionen är att den digitala, fysiska och mänskliga världen kommer att smälta samman på ett sömlöst sätt (cyberfysisk fusion). Det leder till ett uppkopplat samhälle där kommunikation knyter samman människor, maskiner och virtuella tjänster i alla delar av vårt dagliga liv.

Tabellen sammanfattar de tänkta KPI-kraven. För 6G är målen en faktor 10 till 100 strängare jämfört med 5G och innebär nya utmaningar för trådlösa kommunikations- och transportnät.

Av Taro Eichler, Rohde & Schwarz



Dr. Taro Eichler är teknikchef för trådlös kommunikation och fotonik på Rohde & Schwarz i München. Med mer än 15 års erfarenhet av trådlös kommunikation arbetar han för närvarande med olika 6G-industri-forskningsprojekt som täcker ämnen som THz-kommunikation, fotonik, kanalmätningar och rekonfigurerbara intelligenta ytor. Han representerar också företaget i ETSI ISG THz. Han har tidigare arbetat på Intel och NTT Basic Research Laboratories liksom på universitetet i Tokyo.

I vissa tidskänsliga styrapplikationer för synkronisering (exempelvis i industriella miljöer som fabriksautomation) är det viktigt att ha en konsekvent och deterministisk end-to-end-latens med låga fluktuationer, det vill säga lågt jitter, istället för nettolatens. Detta introduceras som en ny KPI. Space-time synchronization möjliggör tidsynkronisering och ömsidig positionering med hjälp av trådlös teknik vilket gör att fjärrstyrda enheter kan samarbeta.

Forskningsområden inom 6G

Bilden nedan sammanfattar några av de områden där utvecklings- och forskningsarbete pågår för att förverkliga visionen om 6G. De mest betydelsefulla kommenteras nedan.

Effektiv drift av ett trådlöst kommunikationssystem är starkt beroende av den vågform som används. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) är fortfarande

en stark kandidat för 6G, men alternativa och applikationsspecifika vågformer eller skalbara vågformer måste utforskas. Nya vågformer som övervägs är bland annat ortogonal tidsfrekvensrymdmodulering (OTFS) för scenarier med hög mobilitet och stor dopplerspridning. Dessutom kan vågformer med en enda bärvåg komma att spela en mer dominerande roll för att uppfylla kraven på strömeffektivitet. För att möjliggöra en mer flexibel användning av den trådlösa kanalen kan det vara fördelaktigt att överväga icke-ortogonal multipelaccess (NOMA).

Nya nätverkstopologier

Den layout som används i dagens nätverksarkitekturer är utformad för att minimera störningar vid gränserna mellan cellerna. För att uppnå kommunikation med ultrahög hastighet, hög kapacitet och hög tillförlitlighet krävs dock att kommunikationen sker



Forskningsområden inom 6G: Nya vågformer och multipelaccess.

över korta avstånd via en väg med låg förlust. Ett alternativ för sådana rumsligt distribuerade topologier är cellfria nätverk där basstationer fördelade över ett stort område samordnar koherenta gemensamma sändningar för att tillhandahålla tjänster till varje användare. Detta ger högre signal/brusförhållande och förstärkning, och en mer konsekvent upplevelse för användare på olika platser. Implementeringen kräver dock mycket komplexa datorsystem och noggrann synkronisering mellan basstationerna, samtidigt som de måste utbyta stora mängder information.

Genom att utvidga nätverkstäckningen till tre dimensioner kan man täcka avlägsna områden som hav och rymd. Detta kan åstadkommas med icke markbundna nätverk (NTN) som använder plattformar på hög höjd liksom satellitkonstellationer i låg omloppsbana (LEO). Dessa fungerar som mobila basstationer i skyn.

Terahertz-kommunikation och avkänning

Att frigöra potentialen i frekvensområdet 100 GHz till 300 GHz (ibland kallat sub terahertz) med bandbredder på flera GHz är en väg framåt. Förutom ultrahöga datahastigheter skulle detta också underlätta för sensorer och bildbehandlingar samt för framtida medicinsk diagnostik.

Konceptet JCAS (Joint Communications and Sensing) stöder båda tillämpningarna naturligt, som en del av utformningen av det fysiska lagret: via dess vågformer och nätverksarkitektur. Det är inte begränsat till THz-frekvenser utan omfattar även millimetervägsområdet. Stora bandbredder kommer också att gynna tillämpningar för högprecisionsavkänning, från positionering, objektetektering och högupplöst radar till analys av spektroskopityp. Det finns ett särskilt intresse för miljötillämpningar.

Fotonik och kommunikation med synligt ljus (VLC)

Optisk trådlös kommunikation (OWC) kombinerar hög hastighet och hög tillförlitlighet med låga driftsättningskostnader. Viktiga fördelar jämfört med radionät är tillgången till 300 THz licensfri bandbredd i synliga och infraröda våglängder, robusthet mot störningar och säker kommunikation i inomhusmiljöer där ljuset inte kan tränga igenom väggarna. För optisk kommunikation i fria rymden (FSO) med våglängder i det infraröda området används modulerade laserdioder för backhaul-lösningar eller rymd-

Key performance indicators (KPI)	5G	6G	Improvement factor
Peak data rate (in Gbps)	10	100 to 1 000	10 to 100
User experienced data rate (in Gbps)	0.1	1 to 10	10 to 100
User plane latency (in msec)	1	0.1	10
Connection density (in devices/km ²)	10 ⁶	10 ⁷ to 10 ⁸	10 to 100
Reliability	99.999%	99.99999%	100
Energy efficiency	1 ×	5 × to 100 ×	5 to 100
Spectral efficiency	1 ×	2 ×	2
Positioning (in cm)	20 to 100 in 2D	1 in 3D	20 to 100
Jitter, i.e. latency variations (in μs)	–	0.1 to 1 000	–

Förväntade förbättringar i viktiga prestandakrav (KPI:er) från 5G till 6G.
(Jitter är en ny KPI som definierar en gräns för latensfluktuationer för tidskänsliga operationer).

baserad kommunikation. På jorden påverkas den dock av väderförhållanden, atmosfärisk turbulens och framför allt dimma.

I kommunikation med synligt ljus (VLC) överförs data via intensitetsmodulering med hög bandbredd och kommersiella lysdioder. En fotodiod fungerar som mottagare. Detta kostnadseffektiva tillvägagångssätt gör det enkelt att integrera i befintlig infrastruktur, främst för inomhusapplikationer med fri sikt.

6G kommer också att driva på utvecklingen av framtida transportnät till trådlösa nätverk. Det globala forumet Innovative Optical and Wireless Networks (IOWN) har som mål att utveckla teknik för en arkitektur för dator- och kommunikationsnätverk som är skalbar, elastisk, energieffektiv och som kan hantera latenstider.

Fotonik kan hjälpa till att hantera dessa utmaningar. Det föreslagna öppna fotoniknätverket (APN) kan bidra till att effektivisera dataöverföring och bearbetning och skapa infrastrukturer med stor kapacitet, låg latens och låg energiförbrukning. Integrerade optiska enheter kan erbjuda routing- och termineringsfunktioner för att implementera helt optiska anslutningar från början till slut. Dessutom kommer trenden med ökad efterfrågan på kapacitet under 2030-talet att revolutionera långdistansöverföringen.

En annan teknik som på senare tid har tilldragit sig allt större intresse är kvantkommunikation. Denna teknik skulle kunna spela en kompletterande roll för 6G, till exempel genom att säkerställa tillförlitlighet för ultrasäker och pålitlig kommunikation.

Rekonfigurerbara och intelligenta ytor (RIS) liksom metamaterial

Genom att använda RIS på en byggnads fasad eller i inomhusmiljöer riktas energin i trådlösa signaler mot en specifik punkt. Det ger bättre täckning i miljöer där det inte finns fri sikt och minskar energiförbrukning-

en. En intelligent yta som går att konfigurera om är en plan struktur som är utformad för att ha egenskaper som möjliggör dynamisk styrning av elektromagnetiska vågor. Tekniken passar främst i inomhusmiljöer.

Distribuerad beräkningskraft

Även om de framtida 6G-applikationerna ännu inte är helt definierade, vet vi att prestandakraven kommer att vara ännu högre än för 5G när det gäller datahastighet, fördröjning, spektraleffektivitet, säkerhet, tillförlitlighet och energiförbrukning. Detta kommer också att påverka arkitekturen där informations- och kommunikationstekniken kommer att smälta samman ytterligare. Bearbetning av stora mängder data i distribuerade system i näten leder dock till utmanande krav på datahastighet och latens.

Kommunikationssystem med AI och maskininläring

I framtiden kommer artificiell intelligens (AI) att vara integrerad i alla delar av det trådlösa kommunikationssystemet. Detta kan inkludera en design av det fysiska lagret som anpassar sig till den specifika utbredningskanalen och miljöförhållandena med möjlighet till end-to-end-lösningar. För att klara av den ökade komplexiteten i framtida 6G-nät kommer AI och maskininläring att spela en nyckelroll för utbyggnad och drift, vilket maximerar användarupplevelsen och kostnadseffektiviteten samtidigt som energiförbrukningen minimeras.

Slutsats

System och tillämpningar i Terahertzområdet utgör bara en potentiell byggsten för framtida 6G-kommunikation. Tekniken ser dock ut att bli outhärlig – inte bara för att uppnå målkraven, inklusive maximal genomströmning på Tbit/s-nivå och extremt låga latenser – utan också för att ge plats nya spännande tillämpningar. De användningsområden för 6G som beskrivs i en nyligen publicerad vitbok – som går att ladda ner från vår hemsida – omfattar en mängd olika tillämpningar inom allt från kommunikation till spektroskopi, bildbehandling och sensorer. En framgångsrik kommersiell lösning kommer dock att kräva praktiska affärsmodeller som ännu inte är utvecklade. ■

