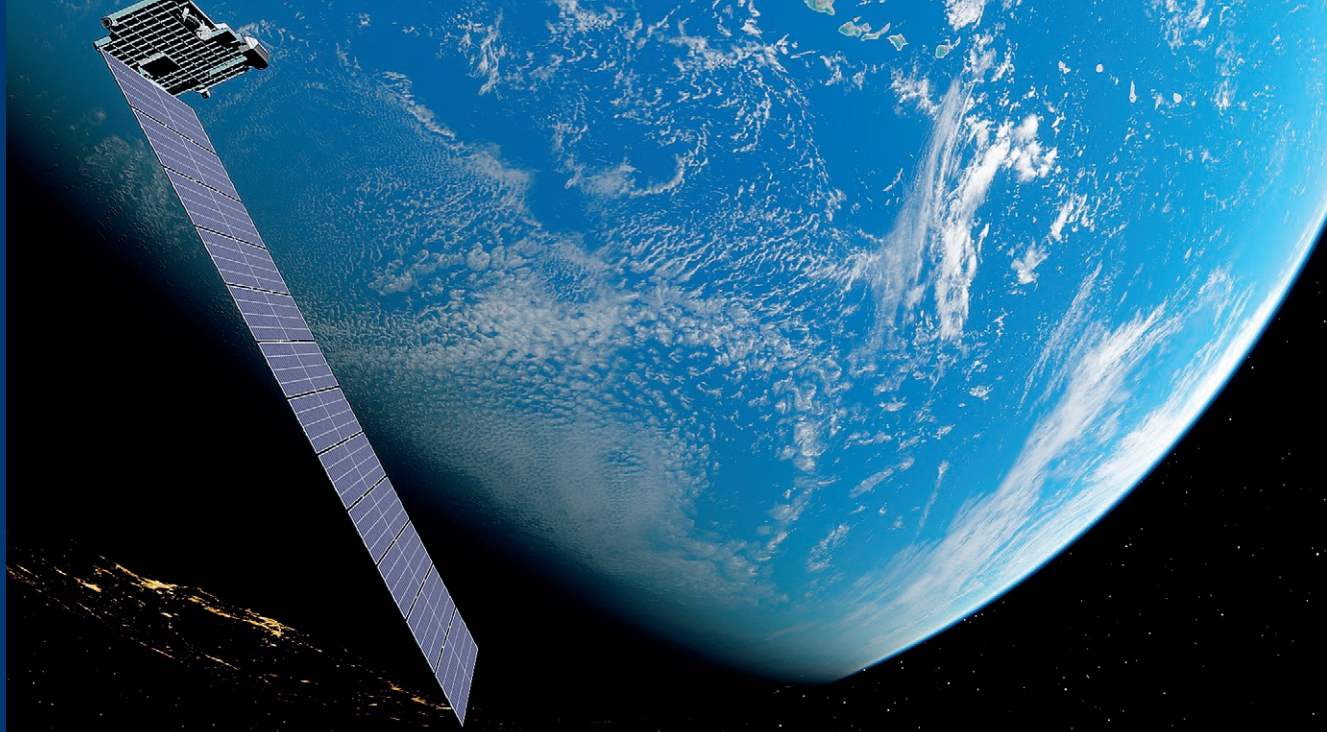


Illustration af en Starlink-satellit i rummet.
Foto: Shutterstock.



SATELLIT- KONSTELLATIONER

kan give globalt internet til alt og alle

Behovet for adgang til internettet, uanset hvor du er på kloden, stiger, og det er særligt udviklingen af Internet of Things (IoT), der presser på.

At etablere en reel global kommunikationsinfrastruktur kan formentlig kun lade sig gøre ved hjælp af såkaldte megakonstellationer af satellitter.

Forfatteren



Israel Leyva-Mayorga er adjunkt ved Institut for Elektroniske Systemer, Aalborg Universitet. Han arbejder aktuelt med metoder og teknologier til trådløs kommunikation, Internet of Things, satellit-netværk og den næste generation af kommunikations-systemer (6G).
ilm@es.aau.dk

Kravet om at kunne være "online" til enhver tid og på ethvert sted stiger konstant. Normalt bruger vi Internettet til at sende beskeder, mails, billeder og videoer, søge information, streame mv. Men det er ikke kun mennesker, der har brug for at være på nettet. Det kan også være sensorer, der måler temperatur, forurening, fugtighed, eller intelligente apparater som et køleskab, der giver besked, når du løber tør for mælk, eller cyklen der slår alarm, hvis den er blevet stjålet. Alt dette kaldes Internet of

Things – IoT – og det har potentiale til at revolutionere vores samfund på mange forskellige måder.

Der er så mange potentielt attraktive anvendelser af IoT indenfor så mange områder af samfundet – fra landbrug, til vandmålere og selvkørende biler – at det forventede antal IoT-enheder i 2023, altså om to år fra nu, er 14,7 milliarder. Det er næsten det dobbelte af verdens befolkning. Udfordringen i forhold til internettet er, at så stort et antal enheder kommer til at generere en vanvittigt stor mængde data. Data som skal på nettet.

Nye brugere på nettet

Når et nyt IoT-system sættes i drift, indeholder dette typisk et antal enheder fra 10-50 op til nogle titusinder, afhængig af applikationen – altså hvad enhederne konkret bruges til. De individuelle IoT-enheder er billige, små, batteridrevne og med en lille kapacitet for dataprocessering. Men mest vigtigt er, at de kræver adgang til et trådløst kommunikationsnetværk som 4G og 5G eller WiFi. Fra de trådløse net forbindes IoT-enheder og smartphones til det kablede netværk (også kaldet kernenet-

værket) for at opnå forbindelse til internettet.

For at have internet på din telefon, eller for at IoT kan fungere, er det altså nødvendigt at være tæt på en sendemast eller WiFi-router med internetforbindelse. Det er muligt de fleste steder, men er også en udfordring for bestemte regioner, landdistrikter og tyndt befolkede områder, hvor geografiske og økonomiske faktorer har hæmmet udviklingen af infrastruktur.

På den ene side vil operatørerne af de mobile netværk ikke finde det rentabelt at investere i sendemaster eller hundredvis af kilometer kabel af optisk fiber eller kobber for at dække et område, hvor der ikke bor ret mange mennesker. På den anden side er det at have internetforbindelse altid værdifuldt for slutbrugeren – dig og mig – uanset om vi er på trekning i vores fritid eller udfører spændende forskning i fjerne afkroge af verden. Udviklingen af IoT har kun gjort det endnu mere værdifuldt at have adgang til internet alle steder. For eksempel vil forbindelse til nettet gøre det muligt for forskere at indsamle aktuelle data fra polarområder og oceaner fra deres computer på kontoret.

Se mod himlen

Udfordringen er, hvordan der kan leveres global adgang til internettet på en rentabel måde. For at besvare det spørgsmål, skal vi se mod himlen.

De fleste kommunikationssatellitter befinder sig i en højde af 35.786 km over Jordens overflade. Her er de i en geostationær bane, hvilket vil sige, at de altid befinder sig over det samme punkt på Jordens overflade. Desværre kan man ikke bruge disse GEO-satellitter, som de kaldes, til IoT. For det første betyder afstanden til satellitterne, at selv om den elektromagnetiske kommunikation med satellitten foregår med lysets hastighed, tager det stadig mindst 0,11 sekunder hver vej, hvilket er for lang tid til nogle



En Falcon9-raket fra SpaceX affyres fra Cape Canaveral Air Force Station i Florida. Raketten medbringer 60 Starlink-satellitter, der sendes i omløb i en lav bane cirka 550 km over Jordens overflade.

Foto: SpaceX/CC BY-NC 2.0

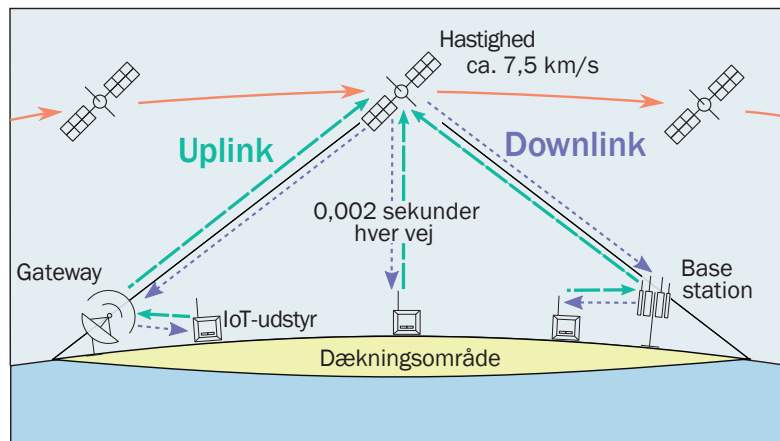


Illustration af princippet i at bruge Low Earth Orbit (LEO)-satellitter til Internet of Things.

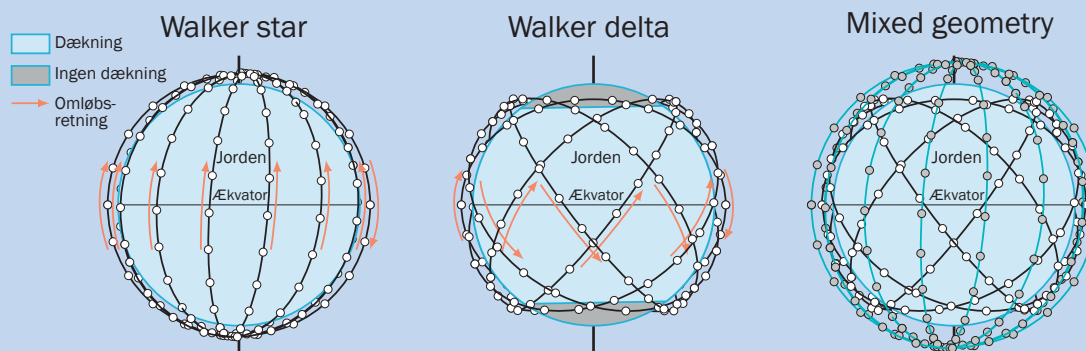
anvendelser. For det andet foregår transmissionen af data mest "uplink" – det vil sige fra enhed til satellit – og det er et problem, da små IoT-enheder typisk ikke har sendestyrke nok til at nå en GEO-satellit.

Derudover kan en enkelt GEO-satellit dække omkring en tredjedel af Jorden og vil derfor potentielt skulle koordinere kommunikationen af data fra et helt enormt antal IoT-enheder. For at give en ide om kompleksiteten af den opgave, så er et af de primære mål for 5G-netværket at være i stand til effektivt at koordinere kommunikationen af få tusinder IoT-enheder per basisstation.

Satellitter der er tættere på

En oplagt løsning er at bruge satellitter med en meget lavere bane. De såkaldte LEO-satellitter – hvor LEO står for Low Earth Orbit – opererer i en højde mellem 500 og 2000 km over Jordens overflade. Her tager kommunikation fra jordoverfladen til en satellit kun cirka to millisekunder, hvilket gør det brugbart til applikationer, der kræver hurtig reaktionstid – det vil sige, hvor data skal transmitteres med en hastighed under 100 millisekunder. Til gengæld dækker LEO-satellitter et meget mindre område og bevæger sig hurtigt i forhold til Jorden. Derfor kræver en global kommunikationsinfrastruktur i en lav bane omkring Jorden en større gruppe satellitter, som nøje er

Typer af satellitkonstellationer



Hvis en satellit-konstellation bestående af flere hundrede – eller måske tusinder – satellitter skal være håndterlig, må den være effektivt organiseret.

En gruppe satellitter, der bevæger sig i en række efter hinanden, siges at være i samme orbitale plan. Og satellitter, der befinder sig i distinkte orbitale planer, bevæger sig typisk enten i samme retning eller tilnærmelsesvist modsat retning.

For at kunne give internetforbindelse i polare egne, må satellitterne i en konstellation bevæge sig hen over polerne – det vil sige i en bane på 90° i forhold til Ækvatorplanet (det kaldes en polar bane). En satellitkonstellation, hvor satellitterne bevæger sig i polare baner med en ensartet afstand mellem de orbitale planer kaldes i fagjargon for Walker star. Mens denne type konstellation tilbyder maksimal dækning, så er konstellationer, hvor satellitterne bevæger sig i orbitale planer med en vinkel på cirka 60° , også en mulighed. Her vil satellitterne bevæge sig over størsteparten af de tæt befolkede områder på Jorden og kun efterlade få lande (undskyld Grønland!) uden dækning. Konstellationer med en ensartet afstand mellem sådanne skæve orbitale planer, kaldes Walker delta.

Walker star og Walker delta er de mest basale konstellations-geometrier, og de fleste kommercielle satellitkonstellationer hører enten til en af disse to eller en kombination heraf, bestående af flere orbitale skaller (det vil sige grupper af satellitter indsat i nogenlunde samme højde). Eksempelvis har satellitkonstellationen Starlink (som er opereret af SpaceX og som i skrivende stund tæller flere end 4000 satellitter) overvejet en blandet geometri med to Walker delta-skaller i 540 og 550 kilometers højde og to Walker star-skaller i 560 kilometers højde. Dette design vil give mulighed for internetdækning i polare egne, mens de fleste ressourcer vil være koncentreret i tæt befolkede områder.

Starlink-satellitkonstellation blev designet med henblik på bredbånds-Internet. Derfor kan den blive rigtig god til at se Netflix eller til videoopkald. Hvis det skal bruges til IoT, vil det kræve, at der placeres en parabolantenne tæt ved IoT-enheden, og det er ikke praktisk, da man helst vil undgå at være afhængig af strøm fra elnettet. Følgelig er Starlink ikke fleksibel nok til mange IoT-applikationer, for eksempel aktiv sporing. Den bedste løsning til IoT vil være direkte kommunikation med satellitter. Det vil være en stor milepæl med hensyn til at integrere rum- og terrestriske teknologier. Derfor arbejder mange forskere, virksomheder og organisationer nu med det.

organiseret til at opfylde bestemte formål. Sådanne grupper kaldes satellitkonstellationer.

Lige nu er private virksomheder som SpaceX, OneWeb, Amazon, Kepler, Telesat, Inmarsat og Iridium ved at designe og implementere satellitkonstellationer, hver med sine egne specifikke mål og applikationer i tankerne. Nogle af disse nye konstellationer indeholder et par hundrede eller endda tusinder af satellitter og falder derfor i kategorien megakonstellationer.

Flere veje fra satellit til nettet

At være i stand til at tilbyde global dækning er kun en af forudsætningerne for at tilbyde global forbindelse til internettet. Dækningen af en satellitkonstellation er normalt defineret som det område, hvor et apparat på Jorden kan kommunikere med en satellit. Men dette tager som sådan ikke hensyn til, hvor mange enheder, der kan understøttes af satellitterne – og mere vigtigt; heller ikke til, hvor meget data, konstellationen kan transmittere, og hvorhen det kan transmitteres uden at skulle

igennem infrastruktur på Jorden som kabler og basisstationer.

Hvis man for eksempel har en IoT-enhed, som sender data, der skal lagres i en cloudserver, som ikke er indenfor satellittens dækningsområde, er der forskellige ting, satellitten kan gøre for at levere disse data. Den kan for eksempel gemme data og vente, indtil destinationen er indenfor rækkevidde. Denne tilgang har den ulempe, at dataene skal gemmes i op til flere timer, før de kan leveres.



En anden mulighed er at overføre data til en nærliggende basisstation. Dette kræver et tæt netværk af jordbaseret infrastruktur, som muligvis ikke vil være tilgængelig i fjernliggende områder.

En tredje mulighed er at overføre dataene til andre satellitter i konstellationen, hvilket minimerer brugen af infrastruktur på Jorden med det mål at minimere leveringstiden. Teknologien til at transmittere data fra satellit til satellit er endnu ikke moden, men to realistiske muligheder er enten at benytte radiobølger i området 20 til 30 GHz eller optisk kommunikation ved hjælp af lasere. Bemærk, at kun ved at implementere direkte kommunikation mellem satellitter, vil man kunne opnå fuldt forbundne og autonome satellitkonstellationer, som vil kunne have samme egenskaber som et kernetværk på Jorden.

Masser af teknologiske udfordringer

Der er mange tekniske udfordringer, der skal løses for at opnå effektiv kommunikation med LEO-satellitter.

En af udfordringerne er, hvordan man bedst organiserer kommunikationsforbindelserne mellem de enkelte satellitter i konstellationen. Mens bevægelsen af konstellationen er helt forudsigelig, er der ikke noget enkelt svar på, hvilken konfi-

guration der er optimal på et givet tidspunkt. Og der findes i øvrigt heller ikke endnu en algoritme, der kan løse det problem. Derfor må vi for nuværende arbejde med ikke-optimale løsninger. Når først der er etableret links mellem satellitterne er det også en stor udfordring at finde ruter for strømmen af data.

En anden udfordring er, hvordan satellitterne skal kommunikere med IoT-enhederne. Selv med LEO-satellitter udgør den begrænsede sendekraft for IoT-enhederne et problem med at nå satellitterne. Det kan betyde, at ekstra udstyr bliver nødvendigt for enten at gøre forbindelsen mulig eller simpelt hen at reducere energiforbruget af IoT-enhederne.

En tredje udfordring er, hvilken antennteknologi satellitterne skal udstyres med. For at modvirke den lange sendefastand, må de elektromagnetiske bølger fra en antenne koncentreres i den ønskede retning. Af samme grund må antenner også meget præcist pege i den rigtige retning – ligesom hvis det var en laser. Da satellitten bevæger sig med 7,5 km i sekundet i forhold til et punkt på jordoverfladen, må antennernes retning derfor konstant justeres i forhold til det korrekte punkt på jordoverfladen eller i forhold til an-

dre satellitter for at undgå at miste forbindelsen.

Et lokalt bidrag til det store puslespil

På grund af de mange teknologiske udfordringer med at etablere Internet of Things gennem satellitter, bliver det ofte fremhævet, at man skal foretrække jordbaserede WiFi- eller mobil-teknologier, når disse er til rådighed. Men det er vigtigt at forstå, at på nuværende tidspunkt udgør satellitkonstellationer den eneste realistiske mulighed for en reel global kommunikationsinfrastruktur.

På Aalborg Universitet arbejder vi i forskningsgruppen Connectivity (CNT) med forskellige aspekter af de nævnte udfordringer. For eksempel arbejder vi med at designe mekanismer, som kan udvælge de forbindelser mellem satellitterne, som må etableres for at maksimere den mængde data, der kan transmitteres samtidig med, at transmissionstiden reduceres. Vi har også arbejdet med at sammenligne antennteknologier for forbindelserne mellem satellitterne og deres betydning for interferensfænomener, der hæmmer performance. Endelig arbejder vi også med, hvordan man udvælger den bedste rute for en datapakke, hvilket er ret kompliceret i netværk med størrelser som satellitkonstellationer. ■

Forskere, der arbejder i øde områder som i Arktis, vil kunne drage stor nytte af et reelt globalt internet, så man ved hjælp af Internet-of-things-enheder kunne lave målinger i felten, som man kunne følge i realtid hjemme på kontoret via internettet.

Foto: Colourbox

Videre læsning

Få opdateringer om forskningen ved CNT på Aalborg Universitet på vores LinkedIn-side: www.linkedin.com/company/connectivity-aau og se mere om samarbejder og projekter på: www.space.aau.dk