

Teknologier og frekvenser. Om 5G og de andre G'er

Preben Kastrup. 21.11.2019

(Da jeg ikke er ekspert, er artiklen et sammenskriv af forskellige artikler af mere vidende folk)

Vores mobiltelefoni består i dag af tre teknologityper: 2G, 3G og 4G. Hver teknologi bruger forskellige frekvenser, men ikke alle teleudbydere har adgang til alle frekvenser. Frekvenserne har forskellige begrænsninger og de påvirker også levende organismer forskelligt.

4G: 800, 1800 og 2600 MHz

3G: 900 og 2100 MHz

2G: 900 og 1800 MHz

MHz er en forkortelse for megahertz, der er en angivelse af en frekvens i millioner hertz (svingninger pr. sekund). FM-radiostationer man normalt lytter til ligger mellem 88 og 105 MHz. Civil flytrafikkommunikation ligger mellem ca. 115 og 135 MHz. Amatørradiobåndene ligger på ca. 144 MHz, mens de traditionelle walkie-talkies sender og modtager på 26-28 MHz.

Jo lavere frekvenstallet er, jo længere rækker en mast. Derfor er de højeste frekvenser mindre udbredte i yderområder, hvor de ikke gør den store forskel, mens de omvendt inde i byerne er med til at sikre hurtigt internet med færre spidsbelastningsproblemer.

Da masterne bliver forstyrret af hinandens signaler, bliver det reguleret, hvem der har rettigheder til at opsætte master på de enkelte frekvensbånd, ligesom det bliver reguleret, hvad båndene kan bruges til. Eksempelvis har 800 MHz båndet tidligere været brugt til tv-signaler.

2G frekvenserne

- også kaldet EDGE eller GSM (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) og (Global System for Mobile Communications)

I Danmark bruger udbyderne 900 og 1800 MHz båndet til 2G signaler. 2G var den første teknologi, der kunne bruges til data på telefon og til de første versioner af såkaldt mobilt bredbånd. I praksis er det så langsomt, at det i dag må betegnes som ubrugeligt, til gengæld virker det glimrende til tale, sms og til afsendelse af billedbeskeder.

3G frekvenserne

- også kaldet UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), HSPA+, WCDMA, Turbo 3G

3G kan deles op i flere typer, hvor HSPA+ og Turbo 3G er hurtigere end det traditionelle UMTS-signal. UMTS kan nogle steder også dække over HSPA+.

Længe brugte udbyderne i Danmark kun 2100 MHz båndet til 3G, men i dag er der også åbnet for 900 MHz båndet. Efterhånden er der en del master på 900 MHz båndet – ikke mindst i yderområderne, da masterne rækker længere, og dermed hjælper med at dække, hvor udbyderne har svært ved at have kommerciel interesse i at nå ud.

Alle de danske mobilnetværk har licenser til at bruge både 2100 og 900 MHz båndene.

3G kan bruges til både data, tale og sms på langt de fleste mobiltelefoner. I Danmark er der fortsat bredere 3G end 4G-dækning, selv om 4G haler kraftigt ind.

4G frekvenserne

- også kaldet LTE (Long Term Evolution)

I dag er der tre forskellige frekvenser til 4G: 800, 1800 og 2600 MHz. På grund af de forskellige frekvensers rækkevidde anvendes 800 MHz og til dels 1800 MHz i yderområderne, mens 2600 MHz båndet især findes i byerne, hvor afstandene er kortere.

LTE kan bruges til data på telefoner og mobilt bredbånd.

Inden for hvert bånd er der forskellige rettigheder, og derfor har udbydere ikke nødvendigvis de samme forudsætninger.

Hvilke "bands" svarer til hvilke frekvenser?

Ofte angiver telefoner og andet udstyr frekvenser som "bands" – det engelske ord for frekvensbånd. Bandstallet følger ikke frekvensen på en logisk måde.

800 MHz båndet er "band 20", og det er det 4G-bånd, der oftest kan være problemer med at modtage, hvis du har en europæisk telefon.

Det er samme band uanset om teknologien er 2G, 3G eller 4G – men telefonen kan ikke nødvendigvis modtage samme band i alle teknologier.

- Band 20: 800 MHz (4G, Telia-Telenor og TDC)
- Band 8: 900 MHz (3G og 2G, alle netværk)
- Band 3: 1800 MHz (4G og 2G, alle netværk)
- Band 1: 2100 MHz (3G, alle netværk)
- Band 7: 2600 MHz (4G, alle netværk)

Wi-Fi frekvenserne

Skemaet nedenfor (lånt fra Wikipedia) viser de tilladte Wi-Fi-frekvenser i Danmark. 2,4 Ghz er den mest udbredte frekvens til trådløse netværk i Danmark. Det er også en meget brugt frekvens til fx. dørklokker, mikrovne, telefoner, babyalarmer osv., og det betyder at der kan opleves for meget "støj" eller aktivitet på linjen. Det er her at 5 Ghz kommer ind i billedet. På grund af den kortere bølgelængde har 5 Ghz frekvensen en kortere rækkevidde end 2,4 Ghz. Nogle tror fejlagtigt at de nu har fået 5G netværket, men det er altså frekvensen de har adgang til.

Frekvens i MHz						Maks Sende- styrke i mW	Tilladt siden	Specielle lovkrav
Start	Slut	Antal kanaler						
2.400	2.483	4x20	2x40			100	1999-09-07	
5.150	5.250	4x20	2x40	1x80	1x160	200	1999-09-07	
5.250	5.350	4x20	2x40	1x80	1x160	200	2000-03-30	DFS
5.470	5.725	11x20	5x40	2x80	1x160	1.000	2002-12-10	DFS , TPC for mere end 500mW
57.000	66.000	4 kanaler af 2.160 MHz				10.000	2009-11-27	Må ikke bruges udendørs

Bruger alle lande de samme frekvenser som Danmark?

Det kan ikke stilles generelt op, men i udgangspunktet bliver de samme frekvenser brugt i Europa – der kan være enkelte undtagelser. I Asien bliver der relativt ofte brugt de samme frekvenser som i Danmark, men der er flere undtagelser (f.eks. Japan). Australien og Afrika har også en del undtagelser (særligt for 4G). USA, Canada og Sydamerika er områder, der adskiller sig markant fra de danske frekvenser.

En del telefoner og udstyr understøtter dog brug på mange forskellige frekvensområder, og oftest virker din mobiltelefon således også i eksempelvis USA, selvom signalet skal fanges på andre frekvenser. Det er dog ikke en selvfølge, og ofte kan du kun modtage på enkelte frekvenser.

Udbydernes dækningskort og mastedatabasen

Man kan finde de enkelte udbydernes dækningskort og se, hvilken dækning udbyderen har i forskellige områder. Dækningskortene viser dog ikke, hvilke frekvenser masterne kører på.

På [mastedatabasen](#) kan du se masterne og ved at klikke dig ind på hver enkelt, kan du se, hvilke udbydere, der har master på placeringen og hvilken frekvens, masterne kører på. Nogle master rækker dog længere end andre. Jo lavere frekvens, jo længere rækkevidde. Derfor kan det godt være en 800 MHz 4G-mast, du bliver koblet på, selvom der er en 2600 MHz mast meget tættere på.

Hvordan adskiller 5G (eller 5G NR) sig?

5G NR er forkortelsen for “5G New Radio”. NR benyttes for at understrege, at der er teknisk forskel på 4G og 5G. Ligesom 4G LTE vil 5G NR teknologien alt andet lige udvikle sig med tiden.

1. Frekvenserne er vigtige

Slut marts 2019 sluttede auktionen over i alt 20 såkaldte frekvensblokke i 700, 900 og 2300 MHz-frekvensbåndet. De MHz-bånd der skal bruges til 5G og fremtidens netværk. Licenserne er gyldige i 20 år for 700-MHz-båndet og 15 år for 900 MHz-båndet.

De lave frekvensbånd under 1 GHz er ikke så interessant, når vi taler om 5G NR. Disse frekvensbånd vil blive brugt til den universelle radiodækning over hele landet.

Frekvenserne mellem 1,8 og 6 GHz er derimod mere centrale. Her kommer nye teknologier som Massive MIMO og beamforming ind i billedet. Mere om det nedenfor.

I første omgang er det frekvenserne under 6 GHz, som bliver udrullet over hele landet. Først senere kommer de højere frekvensbånd på >20 GHz. De højere frekvensbånd kaldes også for mmWave frekvensbånd.

Hvad er Mbit

Alt handler om hastigheder, så vi skal lige have på plads hvad en Mbit er for noget. En bit er en enkelt talværdi, som enten er 1 eller 0, det er den mindste dataenhed i en computer – dvs. den mindste mængde information som gemmes. En byte derimod er en sekvens af bits, og normalt går der 8 bits på et byte. Dvs. at der er 8 megabit i en megabyte og 1 gigabyte er 8 gange større end 1 gigabit.

Vi taler normalt om millioner når det handler om bits – nemlig Megabit. Det handler f.eks. om hastigheden af vores bredbånds-internetforbindelse. Skal du downloade en fil på fx. 100 Megabytes, og din downloadhastighed er 100 Mbit/sekund (fibernet), så skulle man tro at det ville tage et sekund, men faktum er at det vil tage 8 sekunder, fordi en byte = 8 bits, så du skal gange tallet med 8.

Når vi taler internethastighed på internetabonnementet får vi farten angivet i Mbit, men når vi f.eks. skal downloade en fil, vil den typisk blive angivet som Mbit/s (megabit per sekund), som angiver hvor meget data vi kan hente ned pr. sekund. De to værdier er det samme.

Millimeter bølger: mmWave frekvensbåndene

Frekvensbåndene under 1 GHz giver ikke så meget mere hastighed. Det er på frekvensbåndene mellem 1 og 6 GHz, at det begynder at tage fart.

På disse midterste frekvensbånd kan der leveres hastigheder på 2 til 5 Gbit/s afhængig af, hvilke teknologier og frekvensbånd der tages i brug. Se mere under Kapacitet.

På de høje frekvensbånd, kaldet mmWave (millimeter bølger) frekvenser, stiger hastigheden for alvor med brugerhastigheder på 10 til 20 Gbit/s. Hastighederne skal dog tages med et stort forbehold da de reelle hastigheder beror på mange mellemregninger, som hvilke frekvensbånd teleselskaberne har licens til, valg af teknologiske løsning osv.

2. Forsinkelse: Latency og ping

Forsinkelse eller Latency er det store og svarer til udtrykket “ping-tid” fra online spil.

Ping er ikke en forkortelse for noget. Navnet skal henlede en mod den lyd som en sonar giver i forbindelse med ekkolokation af et objekt. Fx når en flagermus udsender en lyd, som så rammer et objekt og sender en lyd tilbage. En teknologi som man har kopieret og som fx militæret bruger til at finde objekter under vand eller i luften. Har man set krigsfilm, hvor de benytter denne teknologi, giver navnet ping bedre mening.

Ligesom man ved en sonar er interesseret i afstanden fra sonaren til objektet, er man med ping'en interesseret i afstanden mellem computer og en internet server. Der er ikke tale om en fysisk afstand fra fx Aalborg til New York, selvom denne afstand selvfølgelig vil påvirke ping'en. Den faktor vi er interesserede i er hastigheden eller rettere hvor lang tid det tager fra at vi udsender et signal til en server til vi modtager det igen.

Forsinkelsestiden eller Latencyen er derfor kort fortalt, hvor hurtigt netværket kan flytte data mellem det bagvedliggende netværk, sendemasterne og en smartphone.

Med 4G LTE er det muligt under optimale forhold at opnå en latency på 15-25 millisekunder – svarende nogenlunde til en almindelige xDSL kobberforhindelse. Med 5G NR kan man opnå en latency ned til 1-2 millisekunder, hvilket er meget tæt på latency på en fiberforbindelse.

Her skal man huske på, at de nævnte tal i millisekunder er målt mellem selve radionetværket (mobilmasten) og en smartphone. Den oplevede latency i f.eks. spil vil være højere.

3. MIMO antennteknologien

MIMO står for Multiple Input Multiple Output, og er en antenne teknologi, hvor man ved hjælp af flere antenner kan øge hastigheden ganske voldsomt.

I en normal 3G smartphone benytter man normalt kun én antenne til at modtage, og én antenne til at sende signaler. I de fleste smartphones er denne antenne faktisk én og samme, som man benytter til skiftevis at sende og modtage.

I en moderne 4G LTE smartphone benytter man to antenner til at modtage og to antenner til at sende radiosignaler. Dette system kaldes MIMO 2×2, og det er et krav, at alle 4G LTE telefoner understøtter dette. MIMO 2×2 kan oversættes til, at der er to antenner i teleselskabets mobilantenne og to antenner i ens smartphone.

Normalt udsendes et 2G eller 3G signal horisontalt – altså fladt. Når man skal udsende flere forskellige datastrømme på samme tid, fungerer det ikke hvis begge signaler udsendes på samme måde. Telefonen vil ikke kunne se forskel på signalerne.

For at modvirke dette, er den mest gængse måde at benytte polarisation diversity. Det betyder, at det første signal udsendes skævt i forhold til det andet signal – se illustration.



Ill. fra meremobil.dk

Det kræver dog ekstra processorkraft og dermed også mere strømforbrug. Det er forklaringen på, at de første generationer af 4G LTE smartphones brugte mere strøm, i forhold til normale 3G smartphones.

MIMO bliver dog deaktiveret, når signalstyrken bliver for dårlig f.eks. ved meget dårlig dækning indendørs eller der meget langt til den nærmeste mobilmast.

Flere antenner kræver dog også mere plads.

4. Massive MIMO

Massive MIMO er således en antennteknologi, der kan sende mere end ét signal på samme tid på samme frekvensbånd. Men nu med endnu flere antenner.

Man kan f.eks. som standard overføre op til ~150 Mbit/s over et frekvensbånd på 2×20 MHz med 4G LTE. Med Massive MIMO sætter teleselskabet en ny slags antenne på mobilmasten. Antennen indeholder mellem 8 og 32 små antenner, som kan sende på samme frekvensbånd.

Som nævnt bruger 4G LTE telefoner to antenner til at sende og to antenner (MIMO 2×2) til at modtage med. Ved brug af Massive MIMO på et 4G netværk kan teleselskabet i praksis femdoble kapaciteten på frekvensbåndet. 4G LTE smartphones understøtter dog ikke alle antennerne i Massive MIMO. Som standard kun MIMO 2×2 eller MIMO 4×4 på de nyere high-end smartphones.

5G NR understøtter som standard Massive MIMO med minimum 32 antenner, men der findes også udstyr med både 96 eller 128 antenner på markedet.

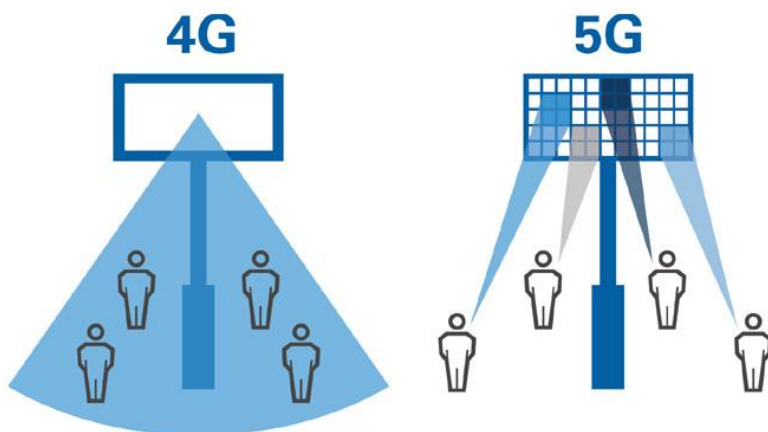
Ulempen med Massive MIMO er at det ikke fungerer med de lave frekvensbånd under 1 GHz, da det kræver, mange antenner i din smartphone. Derfor er Massive MIMO en teknologi, som bliver brugt på 1.800 MHz og derover.

Ud over både øget kapacitet og højere hastigheder giver Massive MIMO bedre signalstyrke da der med flere antenner er flere datastrømme, som transmitteres til og fra smartphonen.

5. Beamforming

Med Massive MIMO er der mulighed for at lave beamforming. Det er en teknologi, hvor mobilmastens antenne kan bestemme, hvor radiosignalerne sendes hen.

Med den nuværende teknologi sender en antenne radiosignaler ud over et stort område – man kan sige at signalerne bliver spredt for alle vinde.



Forestil dig at mobilmastens antenne bliver som en stor lommelygte, som kan fokusere på bestemte områder eller brugere. Ved at fokusere radiosignalerne kan man opnå højere datahastigheder og effektivisere brugen af frekvensbåndet ved at fokusere signalerne i forskellige retninger.

Beamforming gør det muligt, at sikre endnu bedre dækning. Med beamforming kan man benytte 3,5 GHz frekvensbåndet og levere en dækning, som svarer til den samme dækning, der kan leveres på 1.800/2.100 MHz frekvensbåndet. Normalt har 3,5 MHz en meget begrænset rækkevidde, men denne ulempe fjerner beamforming.

Da der er masser af ledige frekvenser på 3,5 GHz frekvensbåndet kan man ved at udnytte 3,5 GHz frekvensbåndet levere meget hurtige overførselshastigheder uden at det går ud over dækningen.

Helt sådan kommer det ikke til at fungere i praksis, men kapaciteten på hvert enkelt frekvensbånd på 1.800 MHz og derved, vil med beamforming antennteknologi og massive MIMO kunne levere langt mere data end med den nuværende 4G LTE teknologi. Med 5G NR og Massive MIMO kommer man op på hastigheder som kan leveres med fibernet.

5. Mobilnettet bliver skåret i skiver: Network slicing

Networks slicing er ikke noget helt nyt, for teknologien er også tilstede i 4G LTE. Med network slicing kan man dele mobilnetværket op, så visse brugere får deres eget netværk

Milliarder af nye enheder skal kobles på nettet, og de skal hver især løse forskellige opgaver. Det er derfor nødvendigt at 5G-netværket deles op i lag, så hver enhed får lige den forbindelse, den har brug for. F.eks.:

SMARTPHONES: Høj downloadhastighed, mange enheder. Smartphonebrugere har brug for høj datahastighed. Denne skive har derfor fokus på at levere stor båndbredde til mange modtagere.

SUNDHEDSSEKTOR: Lav responstid, høj forbindelsessikkerhed. En skive i netværket kan f.eks. dedikeres til fjernkirurgi. Her må forbindelsen til robotten ikke gå tabt, og responstiden skal være så lav som muligt.

INDUSTRI: Lav responstid, høj downloadhastighed. Det kræver lav responstid at fjernstyre gravemaskiner præcist og høj båndbredde til f.eks. realtids videostreaming af den fjerne byggeplads.

SMARTE ELMÅLERE: Mange enheder, lavt strømforbrug. Intelligente elmålere indberetter dit forbrug via 5G. For at forlænge batterilevetiden kræver denne skive minimal energi fra enhederne.

Politi og brandvæsen skal eksempelvis også have deres egen skive, så de har plads på netværket uanset om det er overbelastet.

6. To 5G standarder

5G NR består faktisk af to standarder: Standalone (SA) og Non-standalone (NSA). NSA betyder, at 5G netværket kun fungerer, hvis mobilnetværks kontrolfunktioner kører via 4G LTE. NSA udgaven kommer først på markedet og er altså afhængig af et fungerende 4G LTE netværk. SA kan køre fuldstændig selvstændigt uden et 4G LTE netværk. SA kommer lidt senere på markedet.

I Danmark er der i øjeblikket afprøvning af de lavere frekvenser (under 6000 MHz (6 GHz)) som også kaldes FR1-spektret indenfor 5G frekvenser. De højere frekvenser (over 6000 MHz (6 GHz)) også kaldet FR2 kendetegnes ved væsentligt højere hastigheder (op til 20 gange hurtigere end 4G) – men har den udfordring og ulempe, at de ekstremt højfrekvente signaler har en ultrakort rækkevidde.

Man vil derfor næppe se en udrulning af FR2 spektret i udkantsområder fordi det er økonomisk urentabelt. Afstanden fra mast til modtager er i FR2 spektret begrænset til få hundrede meter (i praksis 150 meter) da signalet ellers har så mange forstyrrelser, at hastigheden hvormed data overføres vil forringes væsentligt eller slet ikke nå frem.

I byer, offentlige bygninger, trafikknudepunkter, skoler, sygehuse, institutioner og erhvervsområder vil teleindustrien formentlig relativt hurtigt kunne tjene investeringen i de tusindvis af nye små master ind og man vil derfor være motiveret til at sætte master op i disse områder.

7. Farerne ved 5G

Det er primært de ultrahøje frekvenser på 6 GHz og derover, som internationale forskere advarer kraftigt mod udrulningen af. Disse frekvenser anvendes allerede til militære formål i forbindelse med crowd control. Signalets bølgelængde befinder sig i det såkaldte millimeter-område, mmWave, hvor der opstår en resonans-tilstand mellem kroppens celler og signalet. Eksponering for sådanne frekvenser vil derfor kunne forårsage direkte fysiske symptomer, ubehag og afstedkomme sygdom og potentielt død.

Signalerne er ydermere fokuserede og undergår en såkaldt "linse-proces" som potentielt kan forstærke det udsendte signal mange gange. Et svagt signal, som har relativt små muligheder for at virke på større afstande kan opforstærkes og koncentrerer på et lille område og dermed opnå langt større effekt og dermed forårsage skader, som man i udgangspunktet ikke ville tilskrive det oprindelige signal. Der findes allerede såkaldte Lens Gain Antennas for 5G på markedet. Se mere her: [Development of next-generation 5G directive antennas at millimeter waves:](https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01957455/file/UN_THESE_DEGHANI%28IETR%29.pdf)

https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01957455/file/UN_THESE_DEGHANI%28IETR%29.pdf

8. Internet of Thing (IoT)

En af de store begrundelser for at indføre 5G netværket har været ideen om Internet of Thing (IoT). Det vil sige når forbrugsartikler, hvidevarer, underholdningsteknologier, forbrugsmålere, transportmidler samt overvågnings- og kommunikationshardware osv. bliver koblet til internettet. Det er også det argument som regeringer m.fl. lader sig forføre af i en verden, som synes at vækst går forud for alt andet - sågar miljø og klima. (se mere her: <http://nejtil5g.dk/category/internet-of-things-iot/>)

