DE KEUS VAN INGENIEUR TEUS

ir. Teus van der Plaat

EFFICIËNT SPECTRUMGEBRUIK ABSOLUTE NOODZAAK

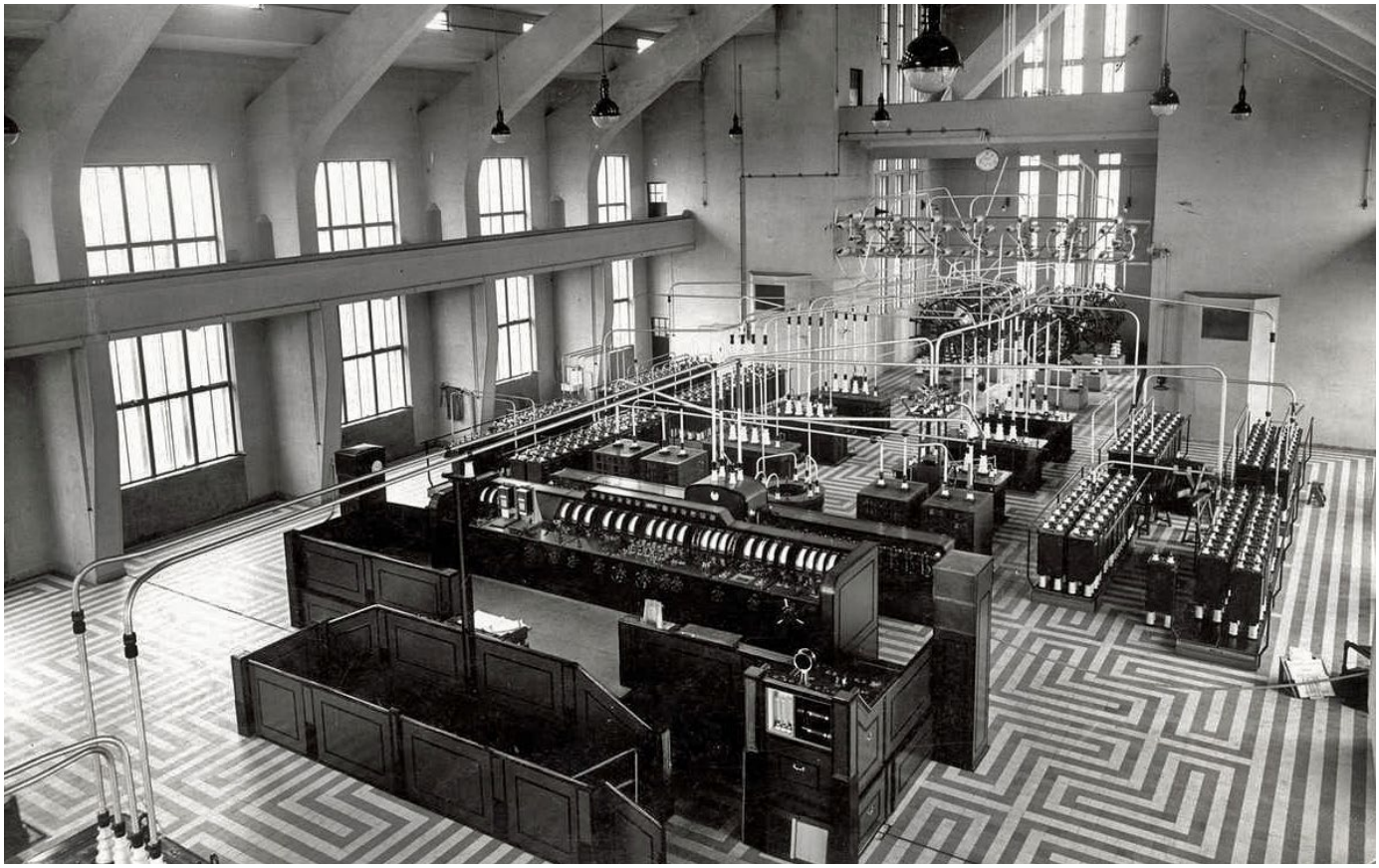
Op verzoek van de hoofdredacteur en naar aanleiding van de recente 5G-frequentieveiligen laat ik in deze column mijn licht schijnen over het fenomeen *efficiënt gebruik van radiospectrum*. Efficiënt gebruik van (militair) spectrum is ook binnen NAVO en de Nederlandse defensie een onderwerp dat in de belangstelling staat. Communicatieverbindingen vormen thans voor operationeel optreden (bijna) altijd een absolute noodzaak. Zonder de garantie van een goede en veilige radiocommunicatie gaan eenheden niet op missie. De tijd van communicatie met behulp van postduiven en rooksignalen is definitief ten einde.

Historie radiocommunicatie

In 1864 ontdekte Maxwell, professor experimentele natuurkunde aan de universiteit van Cambridge het fenomeen van het bestaan van elektromagnetische golven. Uniek is dat de formules, natuurkundige en wiskundige wetten, die hij daarna formuleerde nog steeds geldig zijn!

Ook de huidige radiopropagatie verloopt volgens de door hem geformuleerde wetten. Zijn uitvinding werd in 1888 door de Duitser Heinrich Hertz uitvoerig getest en gevalideerd. En in 1901 kreeg de Italiaan Marconi het voor elkaar om het eerste morsesignaal over de Atlantische Oceaan te transporteren tussen Cornwall en Newfoundland over een afstand van 3200 km. Een ander historisch feit was de eerste morseverbinding tussen de UK en Australië in 1918 (17.000 km). Ook in Nederland was er grote interesse want in 1917 begon men met de bouw van het zendstation Malabar in Nederlands Oost-Indië en de counterpart in Kootwijk op de Veluwe. Op 5 mei 1923 werd de verbinding Nederland-Indië in gebruik genomen met een telegram voor Koningin Wilhelmina. Ook bij defensie werd vlak voor de Eerste Wereldoorlog voor het eerst draadloze communicatie toegepast, initieel door personeel van de Genie, dat later is opgegaan in het Regiment Verbindingstroepen.
We kunnen dus stellen dat het circa honderd jaar geleden is dat radiocommunicatie een belangrijk element in de samenleving en dus ook bij defensie is geworden. Wie had toen kunnen bevroeden dat dit fenomeen nu zo'n enorme vlucht zou nemen. Van efficiënt gebruik van spectrum was toen nog geen sprake, men was al blij als men ca. 50

De radiozenders van Malabar en Kootwijk voor het versturen van telegrammen.



Radio Kootwijk, seinzaal met schakelkasten (1924) bron: Geheugen van Nederland.

bits per seconde door een geoefende marconist van de zender naar ontvanger kreeg! In de start van mijn carrière bij Defensie in 1978 was 2400 bits per seconde een snelle verbinding!

Theoretisch maximum radiokanaalcapaciteit

In 1949 formuleerde de natuurkundige Shannon het theorema van Nyquist/Shannon dat zegt dat de maximale hoeveelheid data die foutloos over een kanaal getransporteerd kan worden lineair toeneemt met de bandbreedte van het kanaal en verder afhankelijk is van de signaal-ruis verhouding. Dit betekent dat de capaciteit van het radiospectrum eindig is en dat we dus efficiënt moeten omgaan met deze ruimte, omdat het maar één keer toegepast kan worden op één locatie. Dit is dus ook al vele jaren het streven van de overheid, het radiospectrum is beperkt en het moet zo efficiënt mogelijk worden ingezet en dit is ook de beleidsachtergrond van de frequentieveilingen.
Als men veel geld overheeft voor het gebruik van het spectrum zal men het ook wel efficiënt gebruiken is de redenatie. Aangezien defensie een speciaal soort toepassing heeft voor radiocommunicatie en er gelukkig niet vaak oorlogsomstandigheden zijn, is gelijk het dilemma van de overheid duidelijk. Voor defensiegebruik is uniek spectrum nodig, maar het wordt commercieel gezien slecht gebruikt, omdat het alleen bij oefeningen en daadwerkelijke gevechtshandeling gebruikt wordt. Er is dus de laatste tientallen jaren een enorme druk op het door defensie gebruikte radiospectrum. Van de ruim 7 miljard bewoners van de wereld heeft al meer dan 6 miljard mensen een mobiele telefoon.
Elke telefoon gebruikt een stukje spectrum en omdat alles steeds sneller moet wordt de druk op het spectrum steeds groter. Defensie heeft in de loop der jaren al vele frequentiebanden moeten 'vrijgeven/afstaan' aan commercieel gebruik en als defensie niet efficiënt omgaat met hun spectrum is kans groot dat er nog meer moet worden ingeleverd.

Efficiënt gebruik van het spectrum

In de afgelopen honderd jaar is er continu gewerkt aan het efficiënter gebruik van het spectrum. Vanaf het handmatig versturen van Morse honderd jaar geleden, is door de miniaturisering van de elektronica de capaciteit enorm toegenomen.

Thans wordt in de transmissiekanalen praktisch gezien nagenoeg 'witte ruis' verstuurd, waardoor bijna de theoretische maximale capaciteit bereikt wordt, zoals deze door Shannon is bepaald. De laatste ontwikkelingen, die verwerkt zijn in de nieuwste 3GPP 4G en 5G standaarden zijn bijvoorbeeld de modulatie van 64/256 bit QAM en zelfs 4096 bits QAM modulatie (QAM=Quadrature Amplitude Modulatie).

Ook het verkleinen van de radiocellen, waardoor dezelfde frequentie vaker gebruikt kan worden en het toepassen van atoomklokken voor de synchronisatie verhogen de efficientie aanzienlijk.

Beamforming

Een van de grote innovaties in spectrumgebruik is het fenomeen beamforming, in feite een techniek die afkomstig is uit de militaire radarsystemen. Een LCF-fregat van onze marine, dat voor de kust van Texel ligt en met zijn radar de vliegtuigen op de luchthaven Heathrow Londen kan zien stijgen en dalen beschikt over de ultieme vorm van een *pencil beam*.
Zonder draaiende delen wordt door middel van bijna 20.000 zenders en ontvangers, die verwerkt zijn in de radarmast door middel van faseverschuiving een enorme hoeveelheid energie richting de UK verstuurd en het teruggekaatste signaal wordt vervolgens ontvangen.

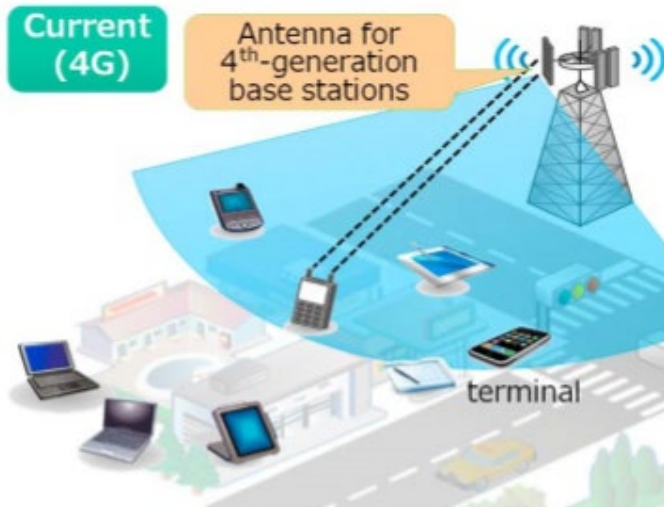
In de huidige 4G en 5G *beamforming* apparatuur heeft men het over 4x4 , 8x8, 64x64 of zelfs 256x256 zenders en ontvangers die meerdere *beams* vormen. Hierdoor wordt het spectrum vanaf een locatie meerdere malen gebruikt en wordt de capaciteit flink groter gemaakt. Men heeft systemen ontwikkeld met statische en dynamische *beams* en deze werken vooral in de 2600 en 3500 Mhz banden, omdat de omvang van de antennes het daar goed toepasbaar maakt. In de lagere frequentiebanden gebruikt men 2x2 of 4x4 systemen, maar het gevolg is dat de antennes een grote omvang krijgen hetgeen niet erg praktisch is.

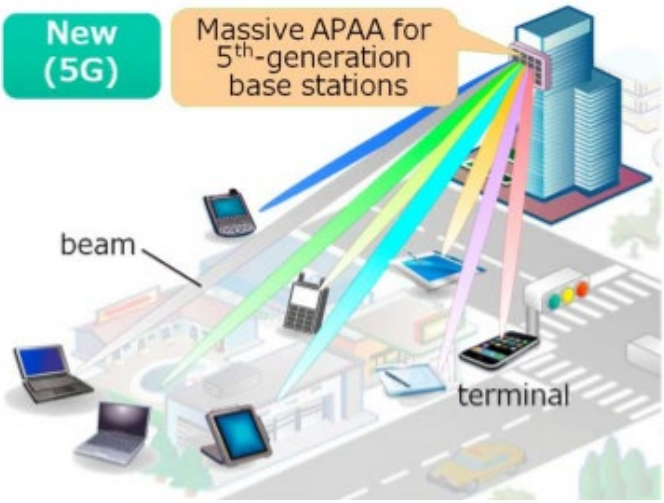
Dynamic Spectrum Sharing

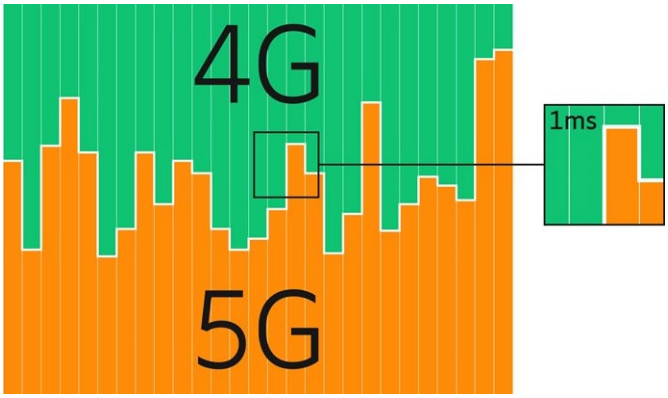
Dynamic Spectrum Sharing (DSS) is een uitvinding van Ericsson, die vlak voor het bevriezen van release 15 in juni 2018 werd ingebracht in het 3GPP standaardisatieforum en die in mijn ogen een van de mooiste innovaties is voor het efficiënt en gedeeld gebruik van spectrum. Deze techniek verdeelt een tijdslot in delen van 1 milliseconde. Door de zender wordt zowel een 4G signaal als een 5G signaal uitgezonden, die elk hun eigen modulatietechniek, cryptoschema en andere parameters hebben. Als in een sector 10% van de telefoons 5G is en 90% 4G zal het spectrum dynamisch verdeeld worden tussen 4G en 5G gebruikers. Bij het stijgen van het aantal 5G devices zal het gebruik van het spectrum voor 5G toenemen en navenant voor 4G afnemen. Het grote voordeel van deze techniek is dat er door een software update gebruik gemaakt kan worden van het bestaande 4G spectrum voor 5G toepassingen, zonder dat er nieuwe masten, antennes etc. geïnstalleerd moeten worden.
Operators als Vodafone NL, Swisscom, Korea Telecom passen deze techniek sinds kort toe en hebben binnen zeer korte tijd 5G dekking in het gehele land. De nieuwe banden die geveild worden zoals de 700Mhz, de 1400 Mhz, 2100 Mhz en de 3400 Mhz kunnen later met *carrier aggregation* technieken worden toegevoegd voor gedeeld gebruik (4G en 5G) of alleen 5G gebruik.

Militair gebruik DSS?

Recente publicaties van het USA DOD vertellen dat men er aan denkt deze DSS techniek toe te gaan passen voor militaire systemen, waarbij spectrum dat oorspronkelijk uitsluitend voor militair gebruik bestemd was ook gebruikt kan worden voor commercieel gebruik. In plaats van *switchen* tussen 4G en 5G gebruik wordt er dan dynamisch *geswitched* tussen commercieel en militair gebruik.
De commerciële telefoons zien/horen de militaire *slices* niet, terwijl ze wel worden uitgezonden en de militaire telefoons kunnen eventueel *switchen* tussen commercieel en militair gebruik. Het eerder geschetste beleidsdilemma wordt hiermee aangepakt. Immers als er geen noodzaak is, of er geen militair gebruik aanwezig is in een sector, kan het spectrum gebruikt worden voor commercieel gebruik, maar zodra er noodzaak is







kunnen de militaire toepassingen binnen milliseconden meer capaciteit krijgen.

Rekenvoorbeeld gedeeld gebruik voor de Nederlandse situatie

In een gemiddeld netwerk in Nederland beschikt een operator over ruim 4000 masten met 12.000 actieve sectoren. Met drie operators zijn er dus circa 36.000 actieve sectoren in Nederland, waarbij meerdere frequenties per sector gebruikt worden. In totaal zijn er in Nederland ca. 20 miljoen actieve simkaarten in gebruik, die verdeeld worden over alle sectoren. Dat betekent dat er dus gemiddeld ruim 550 actieve simkaarten zijn per sector. Als de gehele OOV-sector (inclusief militair gebruik) actief zou zijn betekent dit dus ca 3 tot 5 actieve OOV gebruikers per sector. Dus niet meer dan 1% van alle actieve gebruikers in de Nederlandse netwerken. Als de 2x3 en 2x5 Mhz in de 700 Mhz band, die bestemd is voor OOV-gebruik zou worden toegekend voor gedeeld gebruik betekent dit in het spectrum onder de 1 Ghz een spectrumuitbreiding van ruim 5%. Aangezien de OOV-sector gemiddeld dus niet meer dan 1% van de capaciteit zou vragen betekent dit voor de mobiele netwerkoperators in Nederland een significante uitbreiding van het spectrum, terwijl de OOV-sector dan een landelijk dekkend redundant netwerk tot zijn beschikking heeft via DSS en network slicing.

Er zal echter nog veel water door de Rijn stromen voordat dergelijke oplossingen in Nederland gerealiseerd zijn, maar technisch is het zondermeer mogelijk. Een realisatie is meer een politieke en juridische vraag dan een technische. Uiteraard moet Defensie ook in staat zijn autonome systemen in de lucht te brengen, maar de gebruikte techniek kan hetzelfde zijn.

CBRS-band in de USA

Citizens Broadband Radio Service (CBRS) is een 150 MHz brede band in de 3.5 GHz in de USA voor gedeeld militair en commercieel gebruik. Men heeft daar een heel geavanceerd systeem ontwikkeld om grote delen van deze band ook voor commercieel gebruik geschikt te maken. Zodra er bijvoorbeeld een marineschip voor de kust vaart met zijn radarsystemen aan, wordt dat gedetecteerd door sensoren en worden de door de marine gebruikte frequentiebanden tot honderden km's het land in vrijgemaakt voor militair gebruik. Zodra het schip verder is gevaren wordt dit gedetecteerd en wordt het spectrum weer ingezet voor commercieel gebruik. Dit is ook een mooi voorbeeld van efficiënt spectrumgebruik. Als de militairen het nodig hebben kunnen ze erover beschikken, maar wanneer het niet gebruikt wordt, wordt het zeer snel en dynamisch ingezet voor commercieel gebruik.

UHF-band

Bovengenoemde voorbeelden van zeer efficiënte benutting van spectrum vinden tot nu toe alleen plaats in de door 3GPP gestandaardiseerde banden. (Dit zijn de frequentiebanden waarop commerciële smartphones werken). Voor deze banden zijn ook goedkope telefoons aanwezig en worden chipsets ontwikkeld. Echter defensie heeft ook veel toepassingen in bijvoorbeeld de UHF-band van 200 tot 400 Mhz. Dit zijn propagatietechnisch hele aantrekkelijk banden voor mobiel gebruik. In die banden zijn bovengenoemde technieken thans echter (nog) niet gestandaardiseerd omdat er geen/nauwelijks commercieel radioverkeer plaatsvindt. Technisch gezien kunnen de geschetste technieken ook daar worden ingezet, maar daar zullen dan in internationaal verband wel innovaties voor moeten worden opgestart, samen met kennispartners, netwerkbouwers, handsetleveranciers en uiteraard de regulators.

Conclusie

Het opstarten van innovaties die gebruik maken van de bovengenoemde technieken, maar dan toegepast in de militaire frequentiebanden geeft de mogelijkheid een win-win-situatie te creëren. Defensie krijgt de beschikking over hoge-capaciteitsverbindingen op het moment dat ze voor de operaties noodzakelijk zijn en daarnaast kunnen die frequentiebanden voor commerciële doeleinden gebruikt worden als defensie ze niet gebruikt. Dit is alleen te bereiken door een open en innige samenwerking tussen vele partijen die belang hebben in betrouwbare en veilige radiocommunicatie. Voor defensie heeft het ook een duidelijk financieel voordeel, immers alleen in dergelijke constructies worden handsets ontwikkeld met massa-afzet, hetgeen een sterk prijsverlagend effect heeft ten opzichte van specifiek militaire eindapparatuur.