

Riešitelia: Martin Chlebovec, Tomáš Balog, Matej Bajus

Kontakty: martin.chlebovec.2@student.tuke.sk, tomas.balog.3@student.tuke.sk, matej.bajus.2@student.tuke.sk

Skupina: Utorok, 11:00, č. 7

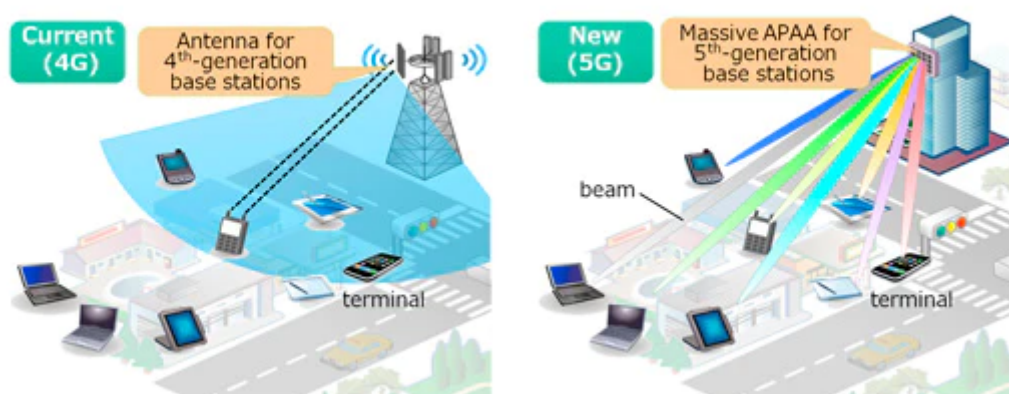
mmWaves, typy antén, typy komunikácie

Úvod

Mobilné technológie a siete sa neustále vyvíjajú. Cieľom je maximalizovať prenosové kapacity a pokryť najväčší možný počet mobilných terminálov, ktoré je možné obslúžiť v čo najkratšom čase. S nástupom novej generácie mobilnej siete sa špecifikujú používané štandardy pre prenos, bezpečnosť, prenosové kapacity, rýchlosti, prístupové doby, frekvencie. Nastupujúca generácia musí byť spätne kompatibilná aj s predchádzajúcou generáciou.

5G siete [1], ktoré sa v súčasnosti implementujú sú spätne kompatibilné so 4G (LTE) sieťami, ktorých frekvenciu rozširuje do 6 GHz, nazývané aj Sub-band 6 GHz. Inými slovami - 5G zariadenie je schopné komunikovať aj so 4G sieťou v prípade, že 5G (mmWaves) nie je v dosahu. Sub-Band 6 GHz má lepšie pokrytie signálom aj čo sa týka nepriamej viditeľnosti, odrazených vln, prechodu prekážkami. Prenosová rýchlosť Sub-band 6 GHz je na úrovni 400-500 Mbps. Využitie Sub-band sa využíva predovšetkým v aplikáciách 5G sietí, kde musí byť garantovaná konektivita, napríklad pre mobilné terminály mimo priamej viditeľnosti s 5G vysielacou anténou, autonómne vozidlá, ktoré sú od konektivity závislé.

S príchodom 5G sietí sa mení aj princíp fungovania mobilnej siete. Predchádzajúce generácie využívali bunkové siete s veľkým vysielacím výkonom, ktoré boli schopné pokryť mobilné terminály na veľkej oblasti na úkor prenosovej rýchlosti a doby prístupu - využívajú metódy časových, frekvenčných slotov s prístupovou dobou, čo znamená odozvu siete v desiatkach až stovkách milisekúnd.



Obr. 1 - Dosah a pokrytie zariadení v 4G a 5G sieti

Zdroj: <https://www.researchgate.net/project/Beamforming-Network-for-Wi-Gig-5G-Applications>

Siete typu 5G sú založené na veľkom počte vysielacích staníc s nízkym vyžarovacím výkonom. Skokom vpred je aj využitie širokého frekvenčného spektra od 30 GHz do 300 GHz v ktorom zariadenia a vysielacie stanice komunikujú. Prechod na vyššie frekvencie je podmienený aj tým, že na nižších frekvenciách fungujú už iné - používané služby a technológie, napríklad: WiFi, Bluetooth, Zigbee zdieľajú spoločnú frekvenciu 2.4 GHz, vyššie frekvencie využíva napríklad širokopásmová technológia UWB v spektre 3.1 GHz až 10.6 GHz, vyššie frekvencie využívajú

satelitné služby.

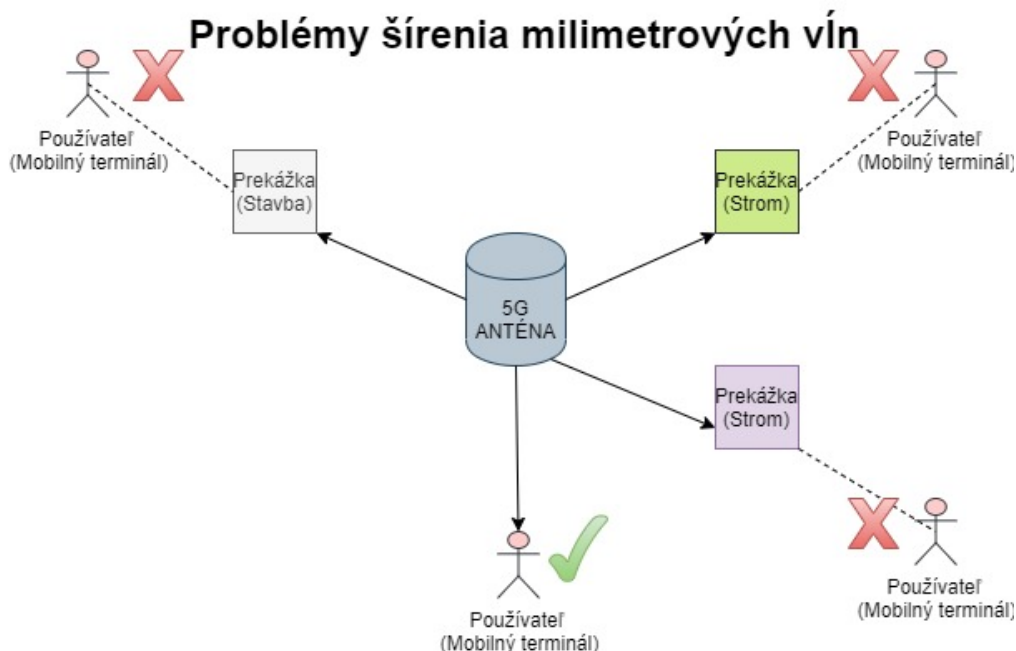
Frekvenčné spektrum 30 - 300 GHz (nazývané aj Extrémne vysoké frekvencie) je vhodné pre mnoho zariadení a služieb, ktoré je možné v 5G sieťach využiť, okrem dátových, hlasových služieb sa počíta aj Internetom vecí - IoT, rozvojom a implementáciou umelej inteligencie do bežného života. Očakáva sa, že do 5G siete sa pripojí niekoľko miliónov inteligentných zariadení, senzorov. 5G siete sa spájajú predovšetkým s autonómnymi vozidlami, rozšírenou/virtuálnou realitou. Vlnová dĺžka signálu v takomto frekvenčnom spektre dosahuje 1 cm až 1 mm - milimetrové vlny.

Signál s takouto vlnovou dĺžkou je obmedzený na pokrytie pomerne malej oblasti s priamou viditeľnosťou medzi mobilným terminálom a vysielačou stanicou. Predpokladá sa, že vysielačacia stanica bude schopná obsluhovať mobilný terminál pohybujúci sa rýchlosťou do 500 km/h v jej dosahu. 5G NR je celosvetový štandard rádiového prístupu pre 5G siete prijatý organizáciou 3GPP.

mmWaves - milimetrové vlny

Milimetrové vlny (mmWaves) [2] umožňujú 5G sieťam dosahovať vysoké dátové rýchlosti rádovo v jednotkách Gbps. Vysoké frekvencie umožňujú prenášať viac dát za jednotku času. S príchodom milimetrových vln sa znížila aj prístupová doba na úroveň 1-5 ms. Prístupová doba posúva Internet vecí vpred, nakoľko to znamená možnosť komunikácie v reálnom čase s inteligentnými zariadeniami bez oneskorenia.

Inteligentné autá, senzory, medicínske zariadenia, dátovo náročné aplikácie (videokonferencie vo vysokom rozlíšení a iné dátovo objemné aplikácie), a najmä používatelia budú schopní komunikovať v reálnom čase bez oneskorenia. Hlavným problémom milimetrových vln sú prekážky v priamej viditeľnosti medzi mobilným terminálom a vysielačou stanicou.

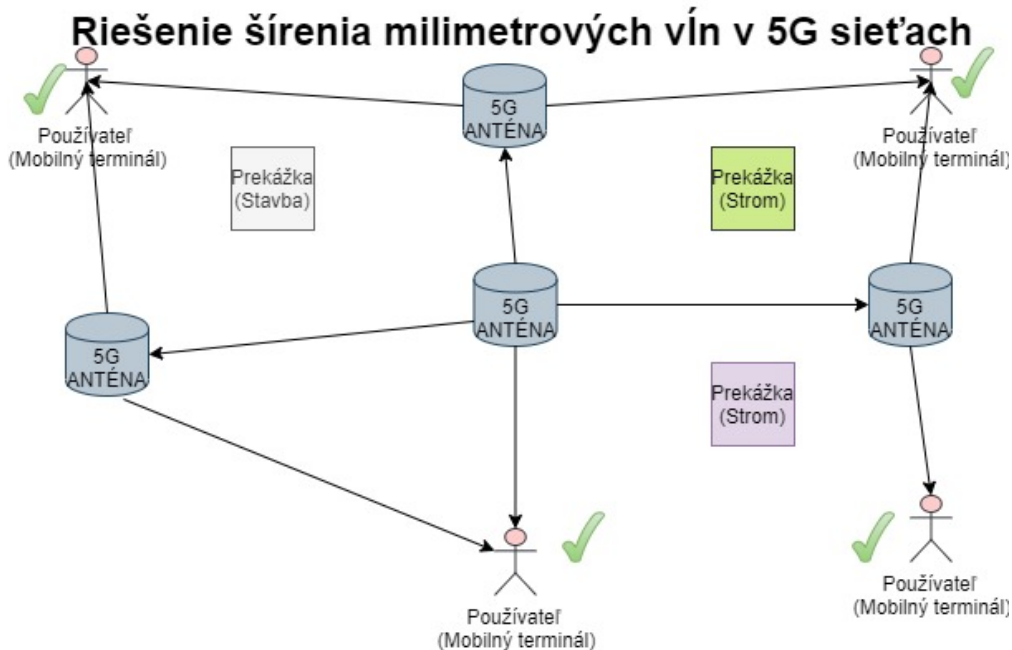


Obr. 2 - Problémy šírenia milimetrových vln v 5G sieťach

Zdroj: Vlastná tvorba v nástroji Draw.io

Medzi najčastejšie prekážky patria stromy, budovy, ale taktiež aj vplyvy počasia. Vlny nedokážu prekážky takéhoto typu prekonať a odrazia sa, prípadne sú utlmené, čím sa výrazne redukuje prenosová rýchlosť.

Takýto problém rieši použitie viacerých nízkovýkonových 5G mobilných staníc, ktoré garantujú komunikáciu s mobilným terminálom kdekoľvek, aj v interiéri. Mobilný terminál komunikuje s viacerými mobilnými stanicami v dosahu (ak je to možné). Vďaka tomu je plynulé aj prepínanie používateľa pri pohybe, bez straty spojenia, či výpadku 5G služby.



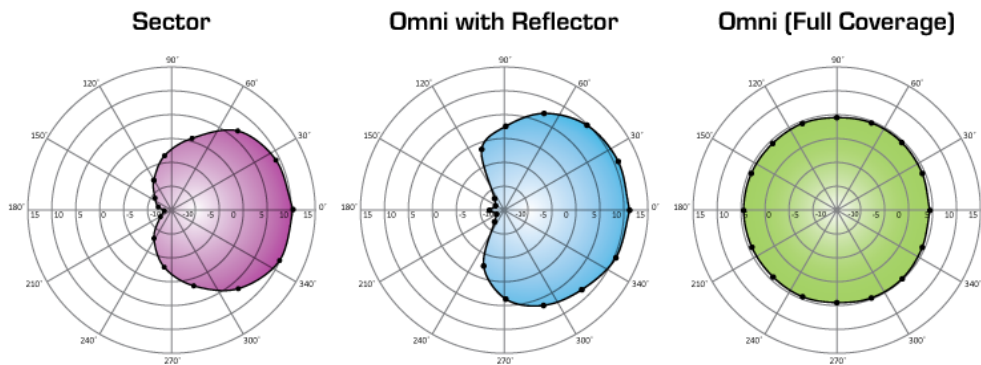
Obr. 3 - Riešenie problému šírenia milimetrových vln v 5G sieťach väčším počtom antén
Zdroj: Vlastná tvorba v nástroji Draw.io

Pre komunikáciu v 5G sieti sa využívajú rôzne typy antén, ktoré sú špecifické svojou charakteristikou, prenosovými a smerovými vlastnosťami.

Typy antén

5G technológia sa zaslúžila aj o vznik rôznych typov antén [3], lišiac sa výkonom, ktoré sa využívajú pre prenos informácií a poskytovanie služieb 5G sietí. Dôraz sa kladie predovšetkým na vysokú dátovú rýchlosť, spoľahlivosť a minimálnu odozvu. Z hľadiska smerovosti (respektíve citlivosti) vieme rozdeliť antény na tieto základné typy, ktoré sa používajú v bežných rádiových sieťach:

- **Všesmerová anténa (OMNI)** - (360°) vyžarovacia charakteristika
- **Všesmerová anténa s reflektorom** - (180-210°) vyžarovacia charakteristika
- **Sektorová anténa** - (10°-180°) vyžarovacia charakteristika
- **Smerová anténa** - (1°-20°) vyžarovacia charakteristika



Obr. 4 - Typy používaných antén v rádiových sieťach

Zdroj:

<https://www.carlsonwireless.com/blog/increased-performance-tv-white-space-omni-antenna-reflector/attachment/3-polar-plot/>

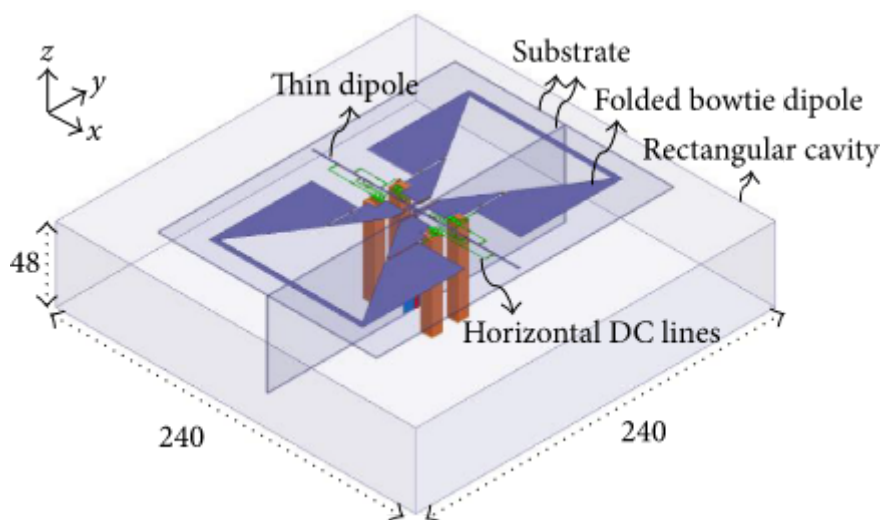
Všesmerová anténa je vhodná v 5G sieťach pre pokrytie všetkých smerov a využitie nájde predovšetkým pri montáži antén na stĺpy verejného osvetlenia, či na stožiare. Využitie všesmerovej antény je populárne aj pre interiérové 5G antény, ktoré zabezpečujú pokrytie všetkých miestností. Sektorová anténa, prípadne všesmerová anténa s reflektorom je vhodná pre umiestnenie na steny budov, kde je istá časť smeru zakrytá budovou, na ktorej je anténa namontovaná. V takomto prípade je výhodnejšie použiť sektorovú anténu so 180° charakteristikou. Sektorová anténa má vyšší dosah ako všesmerová - OMNI anténa. Smerové antény môžu slúžiť ako vykrývače na inak nepokryté miesta, napríklad medzi budovami, na chodbách, parkoviskách.

V roku 2018 zverejnil Luca De Nardis akademický - vedecký článok na tému Rekonfigurovateľné magneto-elektrické dipól antény pre vysielacie stanice v moderných komunikačných systémoch. Autor zhodnotil využitie dipólu ako vhodnej technológie pre vysokorychlostný prenos s dobrým ziskom pre pokrytie interiéru budovy. Autor využil niekoľko zapojení dipólovej antény, respektíve dipólových polí, ktoré boli tvorené hlavným - širokopásmovým dipólom a úzkopásmovými dipólami anténami.

Magneto-elektrická dipól anténa bola testovaná pre tri druhy možností rekonfigurácie [4]. Frekvenčne rekonfigurovateľná magneto-elektrická dipól anténa, polarizačne rekonfigurovateľná magneto-elektrická dipól anténa a rekonfigurovateľný vyžarovací uhol magneto-elektrickej dipól antény.

Frekvenčne rekonfigurovateľná magneto-elektrická dipól anténa

Tento typ rekonfigurácie využíva širokopásmovú magneto-elektrickú dipól anténu a frekvenčne konfigurovateľnú úzkopásmovú dipól anténu (thin-dipole). Na napájanie dipólu sa používa vertikálne orientovaný balun (symetrizačný člen). Úzkopásmovú dipól anténu a magneto-eletrickú dipól anténu je možné prepínať medzi piatimi stavmi (prostredníctvom prepínačov), ktoré pozostávajú zo štyroch úzkych pásiem a jedného širokopásmového. Využitie takéhoto prepínania môže byť podmienené napríklad prevádzkou v sieti a dynamické pokrytie požiadaviek mobilného terminálu v sieti. Využitie tejto technológie môže byť vhodné aj pre kognitívne siete.



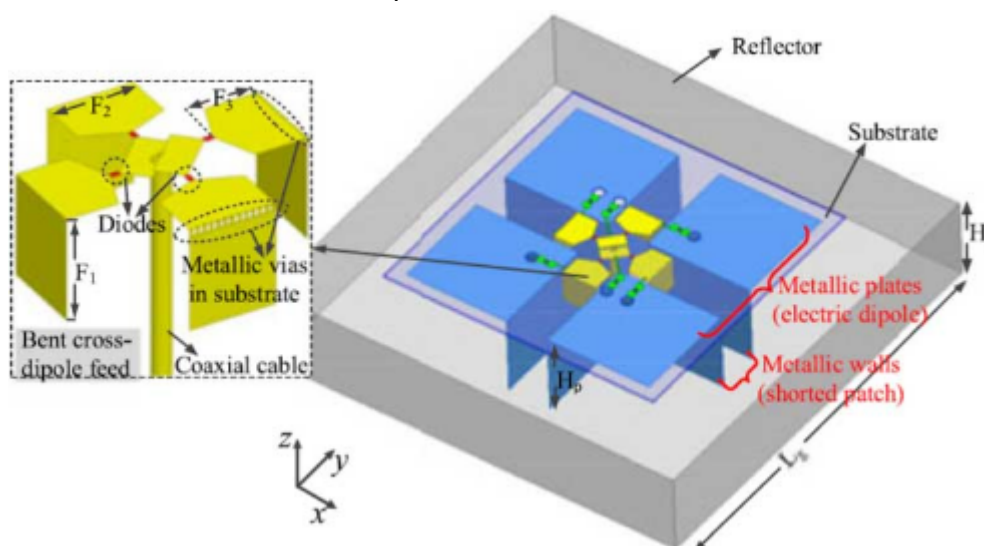
Obr. 5 - Frekvenčne rekonfigurovateľná magneto-elektrická dipól anténa

Zdroj: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/2408923/>

Širokopásmová dipól anténa tak môže v širokopásmovom režime pokryť všetky štyri úzke pásma úzkopásmovej dipól antény. Úzkopásmová dipól anténa má využitie predovšetkým pre zlepšenie pokrytia a vyžarovacích charakteristík. Pri využití širokopásmovej dipólovej antény v miestnosti tvaru štvorca získame rovnomerné pokrytie štyroch smerov so vzájomným posunom 90° .

Polarizačne rekonfigurovateľná magneto-eletrická dipól anténa

Polarizačná rekonfigurácia vychádza z využitia symetrickej štvordielnej geometrie dipólovej antény - krížový dipól. PIN diódy sú zakomponované do ramien krížového dipólu, ktoré je možné v reálnom čase prepínať. Teda signály z koaxiálneho kábla môžu byť spracované a odoslané bez oneskorenia. Polarizačné rekonfigurácia umožňuje vytvoriť polarizačnú diverzitu medzi horizontálnymi a vertikálnymi polarizačnými režimami. V oboch ortogonálne polarizovaných stavoch sa dosahuje impedančná šírka pásma od 1.86 do 2.35 GHz. Takáto dipólová anténa vykazuje zisk 8dBi v celom frekvenčnom pásme.



Obr. 6 - Polarizačne rekonfigurovateľná magneto-eletrická dipól anténa

Zdroj: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/2408923/>

Ďalším typom pre polarizačne rekonfigurovateľnú magneto-eletrickú dipól anténu je využitie lineárnej polarizácie, alebo dvoch ortogonálnych kruhových polarizácií. Tento typ využíva štyri PIN diódy, ktoré sú umiestnená na štyroch kovových doskách, ktoré sú strategicky umiestnené. PIN

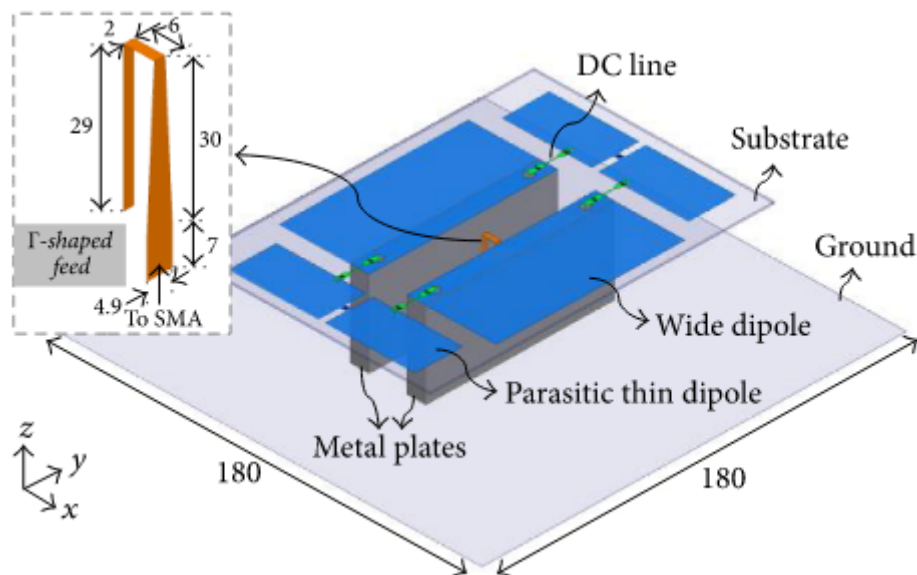
diódy sú umiestnená diagonálne vzhľadom na kovovú dosku.

Diódy riadia pripojenie / odpojenie. Ak sú všetky PIN diódy v režime OFF, aplikuje sa lineárna polarizácia. V prípade aktívnej PIN diódy kruhová polarizácia, prípadne pravostranná / ľavostranná kruhová polarizácia. Tento typ rekonfigurovateľného magneto-eletrického dipólu sa osvedčil, nakoľko ponúka výborné vlastnosti, čo sa týka zisku a smerového žiarenia.

Rekonfigurovateľný vyžarovací uhol magneto-eletrickej dipól antény

Pre metódu rekonfigurácie vyžarovacieho uhla je nutné použiť trojprvkové lineárne dipólové pole s jednotnou napájacou sieťou. Napájacia sieť umožňuje riadiť fázové rozdelenie s pomerom distribúcie energie 1:2:1 pre tri anténne prvky. Fázový rozdiel pre antény 1, 3 a 2 je: 0° , 50° , 108° . Antény sú strategicky umiestnené pozdĺž osi v priestore, pričom každá z antén je rovnaká a sú dobre izolované. Aby sa dosiahlo symetrické pokrytie, sú fázy a amplitúdy koncových antén nastavené rovnako.

Druhým spôsobom rekonfigurovateľného vyžarovacieho uhla je využitie hlavnej širokopásmovej magneto-eletrickej dipólovej antény a dvoch laditeľných parazitných dipólov. Oproti predchádzajúcej metóde fázovej distribúcie sa využíva metóda pokrytia oblasti a väčšieho počtu mobilných terminálov.



Obr. 7 - Magneto-eletrická dipól anténa s postrannými úzkopásmovými anténami

Zdroj: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/2408923/>

Parazitné dipóly na koncoch tejto trojprvkovej dipólovej štruktúry majú rovnako nastavenú fázu a amplitúdu svojich antén. Parazitné dipóly využívajú varaktorové diódy (dióda s kapacitou). Tieto diódy sú konfigurovateľné zmenou kapacity, čím je možné regulovať aj impedanciu dipólu. Hodnoty kapacity varaktorových diód predstavujú spojovaciu silu. Tým je možné regulovať aj výkon hlavného - širokopásmového dipólu. Využitie tejto metódy je vhodné predovšetkým pre interiérové priestory, napríklad chodby. Ďalším používaným typom antén sú Anténové polia.

Parabolické antény

Parabolické antény sa vyznačujú dobrým ziskom a z pohľadu smerovosti sú schopné pokrývať smer, alebo sektorové oblasti, rádovo 5° - 45° . Vyhotovením pripomínajú kruh, alebo šesť až osem-uholník s miernym zakrivením. Zakrivenie umožňuje sústrediť prijatý signál do ohniska -

prijímača parabolickej antény, ktorý je sústredený na stred antény.

Čím je priemer antény väčší, tým väčší je aj zisk a samozrejme smerovosť. Tento typ antén [5] sa využíva v súčasnosti aj pre WiFi prenos na 60 GHz v štandardne 802.11ad, 802.11ay, pričom dosahujú rýchlosti v jednotkách až desiatkach Gbps. Antény sú teda vhodné aj pre 5G siete do ktorej spadá aj táto 60 GHz frekvencia.

Využitie antény je vhodné na účely vykryvača sektoru, napríklad výrobného podniku, hál areálu pre zabezpečenie konektivity pre menšie vysielacie stanice a 5G zariadenia a mobilné terminály. Sú určené predovšetkým pre vonkajšie - exteriérové použitie. Parabolické antény sú vhodné pre frekvencie 30 až 110 GHz. Konštrukciou musia byť schopné odolávať poveternostným podmienkam, zmenám teplôt, namáhaniu.

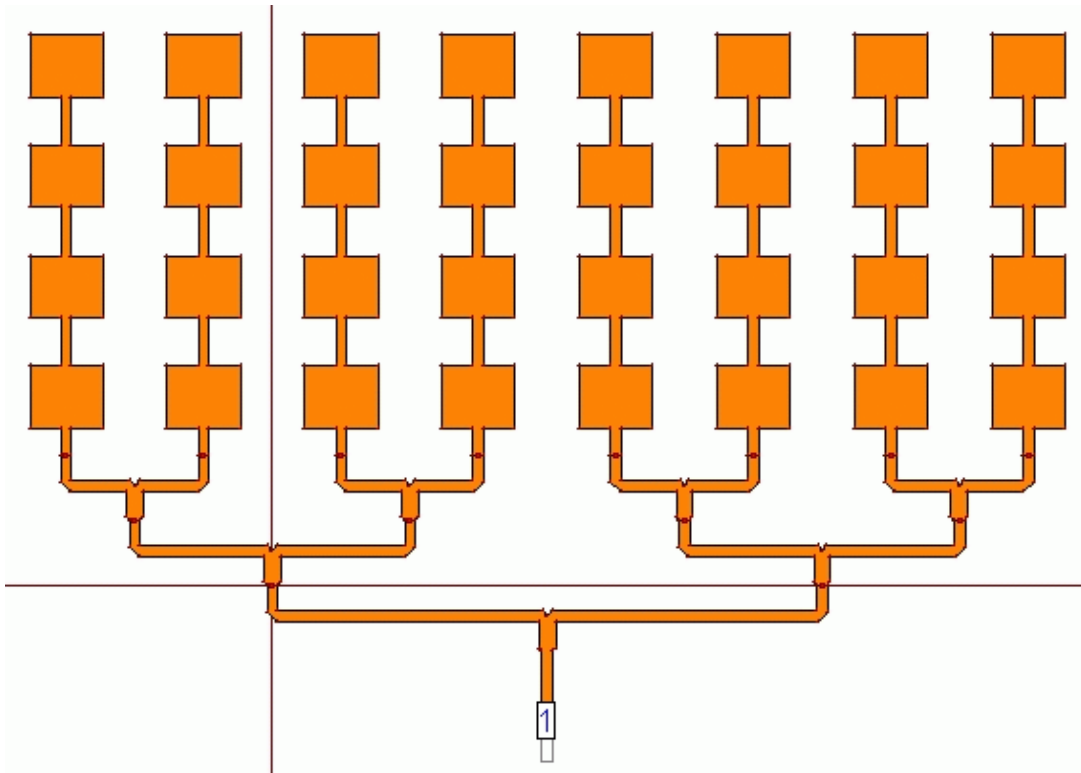
Nakoľko parabolická anténa vysiela a prijíma signál na rovnakej frekvencii súčasne, je nutné oddeliť prijímaný signál od vysielaného pre minimalizovanie rušenia. Z toho dôvodu je nutné použiť pasívne zariadenie - diplexor medzi anténu a rádiový vysieláč, prijímač.

Diplexor zvyšuje zložitosť parabolickej antény, vyžaduje sa jeho ladenie pri výrobe, čo zvyšuje náklady koncového zariadenia a aj celkovú veľkosť anténnej jednotky. Vo svojej podstate sa diplexor skladá z low-pass a high-pass filtra, ktoré umožňujú prechod vysielaného a prijímaného signálu zároveň, dokáže ich separovať.

Anténové polia (Panelové antény)

Anténové pole [6] sa skladá z polí a antén. Každé pole je vybavené rovnakým počtom antén. Rozmery anténnych polí sa vyjadrujú v pomere počet polí / počet antén. V prípade 2x4 to znamená, že anténové pole je tvorené dvoma poliami, pričom každé pole je vybavené 4 anténami, celkovo pole obsahuje 8 antén. Antény sú charakteristické spoločným napájaním a prostredníctvom zmeny amplitúdy, fázového posunu je možné korigovať smer a charakteristiku laloku, čo má využitie pre technológiu Beamforming.

Najpoužívanejší typ smerovej antény v 5G sieťach, vhodná pre extrémne vysoké frekvencie - desiatky až stovky GHz, milimetrové vlny. Vychádza z jednoduchšej koncepcie dipólu pred panelovým reflektorom. Anténové polia môžu byť založené na pokrytí sektorov, alebo pre všesmerové pokrytie v závislosti od vyhotovenia (panel, polkruh, kruh).



Obr. 8 - Anténové pole 4x8

Zdroj:

https://www.researchgate.net/publication/267718251_Low_cost_high_gain_antenna_arrays_for_60_GHz_millimetre_wave_identification_MMID

Systémy založené na anténových poliach sú ľahko škálovateľné s rýchlou možnosťou rozšírenia. Anténové polia s nižším počtom polí a antén sa využívajú na pokrytie interiéru, hál, staníc. Anténové polia s vyšším počtom polí sa používajú na pokrytie exteriéru a väčšieho počtu používateľov, ktoré sú schopné v reálnom čase obslúžiť.

V praxi sa používajú anténové polia 8x8, 16x16, 32x32, 64x64 v závislosti na lokalite a predpokladom počte obslúžených mobilných terminálov. Každá z článkov antény môže plniť Receiver - prijímaciu, alebo Transmitter - vysielaciu časť.

Veľkosť anténnych polí je možné redukovať pri využití konceptu Antenna-in-Package (AiP) používaného pri mmWaves. Koncept využíva integráciu antény priamo do rádiového obvodu - plošného spoja. Štandardný koncept využíva samostatnú anténu, ktorá je pripojená k riadiacemu - rádiovému obvodu, nie je integrovaná priamo doň.

Antenna-in-Package výrazne redukuje veľkosť antény, znižuje interferenciu spôsobenú vedením k anténe. Veľkosť je možné redukovať až o tretinu, čo predstavuje možnosť vyhotovenia kompaktnejších antén z pohľadu veľkosti s ultra nízkou odozvou bez strát na vedení.

Anténové polia používajú predovšetkým technológie na báze Massive MIMO s adaptívnym lúčom - metódou Beamforming a výkonovou reguláciou schopné obslúžiť mnoho mobilných terminálov v reálnom čase s maximálnou prenosovou rýchlosťou. Takéto stanice nazývame aj Small Cells, alebo Small Cells network.

Small Cells

Z pohľadu [7] dosahu a veľkosti môžeme Small Cells rozdeliť na:

- Femtocell
- Picocell
- Microcell
- Macrocell

Femtocell reprezentuje veľkosťou najmenšiu a najmenej výkonnú vysielaciu stanicu pre mobilné siete. Dosah signálu je v jednotkách až desiatkach metrov s vysielacím výkonom do 100 mW so schopnosťou obslúžiť 8 až 16 účastníkov. Použitie tejto vysielacej stanice je vhodné pre domáce, kancelárske použitie. Stanica je schopná pokryť miestnosť mobilným signálom. Mobilný terminál je blízko vysielacej stanice a nemusí využívať vysoký výkon, šetrí energiu batérie.

Femtocells sú vhodné ako vykryvače k existujúcej 5G sieti, ktorú je nutné rozšíriť do vnútorných priestorov budovy. Backbone pre Femtocells sú tvorené optickými vláknami, alebo inou káblovou metódou. Výhodou sú nižšie prevádzkové náklady na realizáciu - cenovo dostupné.

Picocell je typ vysielacej stanice schopný pokryť malú oblasť, napríklad obchody, parky, vlakové a autobusové stanice. Vhodné sú predovšetkým pre zvýšenie pokrytia interiéru budov - poschodí a pre zvýšenie kapacity siete pri použití väčšieho počtu Picocells. Dosah vysielacej stanice sú desiatky až stovky metrov. Vysielací výkon Picocell je na úrovni 250 mW s možnosťou obslúžiť 32 až 64 účastníkov. Picocells môžu byť nasadené aj nárazovo, napríklad pri športových akciách, zvýšenom pohybe ľudí.

Microcell je vysielacia anténa v 5G sieti schopná pokryť okruh 500 metrov až 2 kilometre. Sú určené pre exteriérové použitie napríklad na stĺpoch verejného osvetlenia. Obslúžiť sú schopné až 200 účastníkov zároveň. Väčšinou sú prevádzkované mobilnými operátormi, ktorí týmito vysielacími stanicami dodávajú 5G konektivitu pre mestá, oblasti. Vysielací výkon Microcell vysielacích staníc je 2 až 5 W. Microcells sú schopné komunikovať priamo medzi sebou, nevyžaduje sa káblový backbone ako u Femtocells / Picocells.

Macrocell reprezentuje najväčšiu využívanú vysielaciu stanicu v 5G sieťach (neradí sa priamo k Small Cells). Pokrytie Macrocells je väčšie ako u Microcells, rádovo v jednotkách až desiatkach kilometrov s vysielacím výkonom v desiatkach W. Štandardne sú postavené na stožiaroch mobilných operátorov, slúžia pre pokrytie veľkých oblastí bez veľkého počtu mobilných terminálov, slúžia ako vykryvače 5G signálu. Typicky mimomestské oblasti, okrajové časti miest. Obslúžiť sú schopné stovky až tisíce mobilných terminálov - používateľov.

Výhody Small Cells v 5G sieťach:

- Dosahované vysoké dátové rýchlosti v Gbps s nízkou energetickou náročnosťou
- Ľahká implementácia, ľahko škálovateľný systém
- Nízke náklady (v porovnaní s MacroCells existujúcich sietí 3G / LTE)
- Minimálne požiadavky na lokalitu (možnosť umiestňovať vertikálne na steny, na strechy budov, osvetlenie, existujúcu infraštruktúru)

Nevýhody Small Cells v 5G sieťach:

- Obmedzené pokrytie z dôvodu nízkeho výkonu vysielacích staníc

- Počet účastníkov je značne limitovaný (Hlavne pri Femto / Pico Cells)

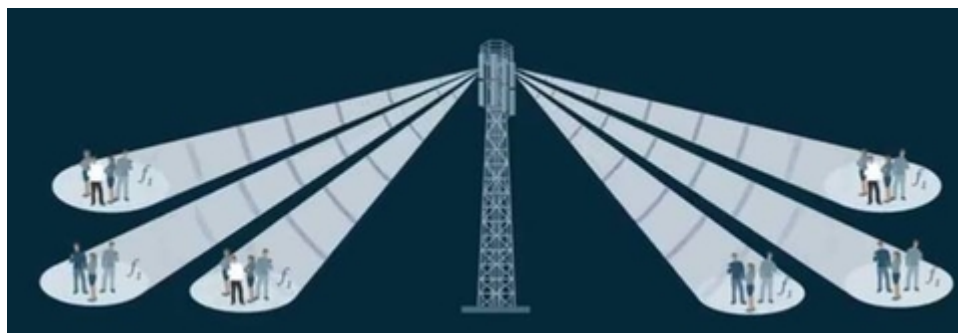
V 5G sieťach mobilný terminál udržiava spojenie s viacerými stanicami v dosahu súčasne a jeho prepínanie (handover) medzi stanicami je dynamické aj pri jeho pohybe bez straty spojenia, či konektivity pre využívanie služieb 5G sietí - vyžaduje sa však dostatočný počet antén v dosahu. Používateľ je prepnutý vždy na vysielaciu stanicu s lepším prijatým výkonom. Nakoľko anténové polia a 5G antény všeobecne nie sú veľké, je možné ich inštalovať na rôzne typy existujúcej "mestskej" infraštruktúry:

- stĺpy pouličného osvetlenia a elektrických rozvodov, striech
- samonosné stožiare pre už existujúcu infraštruktúru telekomunikačných operátorov
- odpadkové koše
- vozidlá - ako mobilné vysielacie stanice
- lavičky
- autobusové zastávky
- vertikálne na steny budov

Beamforming

Metóda [8] využívaná aj v 5G sieťach. Cieľom technológie je potlačiť šum a okolitú interferenciu spôsobenú signálmi, prostredím. Využíva metódu meraní času príchodu signálu -ToA - (Time of Arrival) a uhla prijímaného signálu - AoA - (Angle of Arrival) od mobilného terminálu. Merania sa realizujú sieťou. Výsledkom meraní dokáže určiť približnú vzdialenosť a smer, v ktorom sa 5G mobilný terminál nachádza.

Na základe týchto informácií je možné optimalizovať vysielaciu stanicu, (v kooperácii s technológiou Massive MIMO) vybrať antény pre komunikáciu - natočené k mobilnému terminálu, dokáže upraviť vyžarovací diagram antén a optimalizovať tak prenos k mobilnému terminálu. Vyžarovací diagram je možné upraviť horizontálne i vertikálne pre čo najlepšie pokrytie mobilného terminálu. Vzniká lalok - lúč, nazývaný aj Beam.



Obr. 9 - Metóda Beamforming - Beam ku každému používateľovi

Zdroj: Vlastná tvorba

Simulácia Beamformingu v prostredí MATLAB

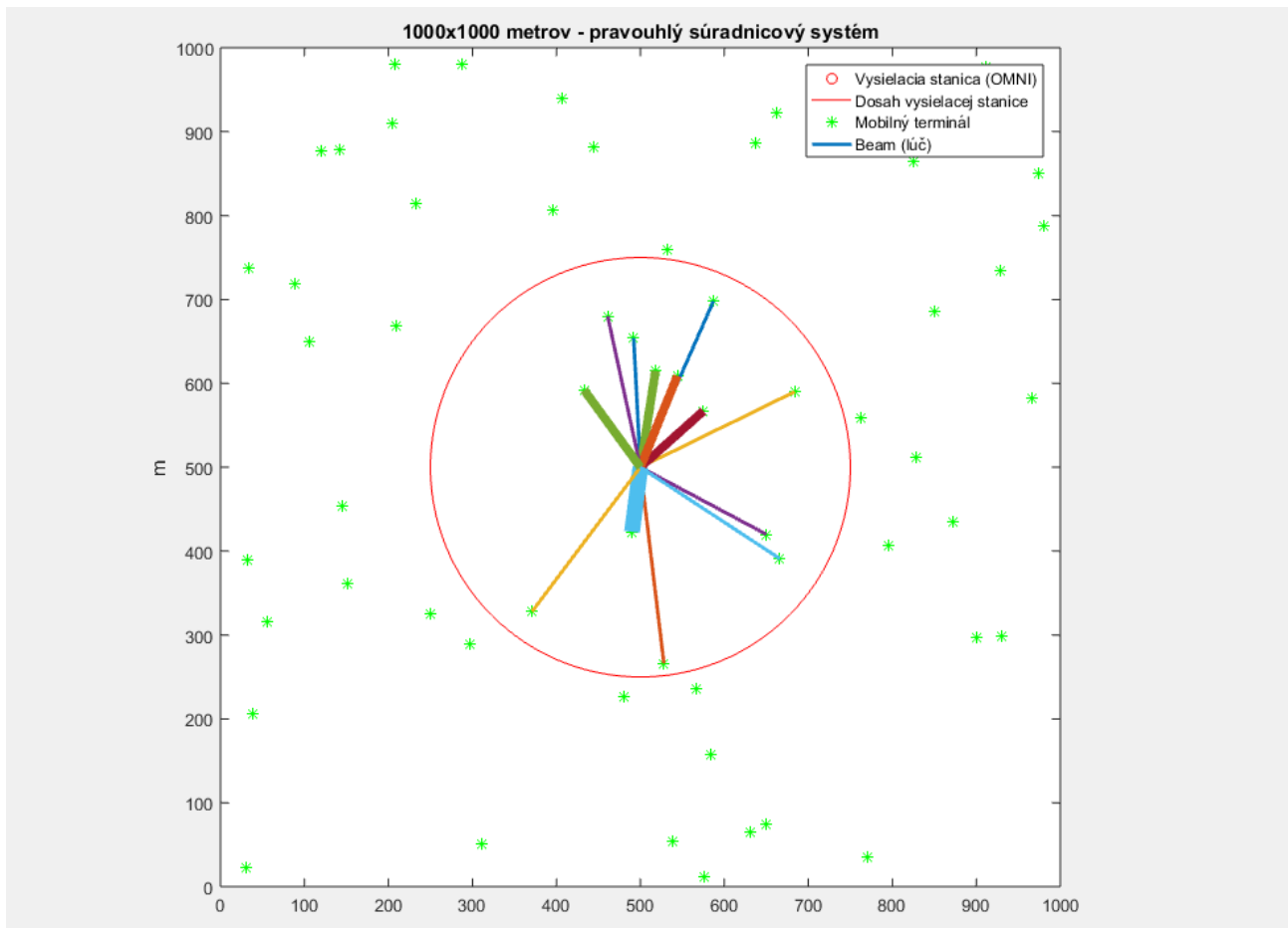
Súčasťou praktickej časti zadania bola aj realizácia jednoduchšej simulácie Beamformingu v prostredí MATLAB. Implementácia využíva generátor náhodných čísel pre generovanie jedinečných súradníc mobilných terminálov v pravouhlom súradnicovom systéme, ktorý

predstavuje plochu 1000x1000 metrov.

Používateľ môže pred spustením programu modifikovať údaje pozície vysielačkej stanice a jej rádius, ktorý predstavuje dosah vysielačkej stanice - používa sa model OMNI antény s 360° pokrytím pre rovnomerné pokrytie mobilných terminálov vo všetkých smeroch s jej umiestnením na stred pravouhlého súradnicového systému.

Vysielačacia stanica obsluhuje všetky body, ktoré sa nachádzajú v rádiuse jej pokrytia. Na základe vzdialenosti mobilných terminálov v rádiuse dokáže vysielačacia stanica vytvoriť 3 rôzne úrovne lúčov - Beamov. Beam smeruje ku každému mobilnému terminálu, ktorý je v rádiuse vysielačkej stanice. Lúč reprezentuje čiara medzi vysielačcou stanicou a mobilným terminálom.

Úroveň lúča reprezentuje hrúbka čiary - so vzdialenosťou je tenšia - lúč sa optimalizuje a prispôsobuje sa väčšej vzdialenosti medzi mobilným terminálom a mobilnou stanicou. Implementácia obsahuje komentovaný zdrojový kód, označenia osí pravouhlého súradnicového systému s legendou grafu.



Obr. 10 - Výstup simulácie v prostredí MATLAB v pravouhlom súradnicovom systéme
Zdroj: Vytvorené autorom

Massive MIMO

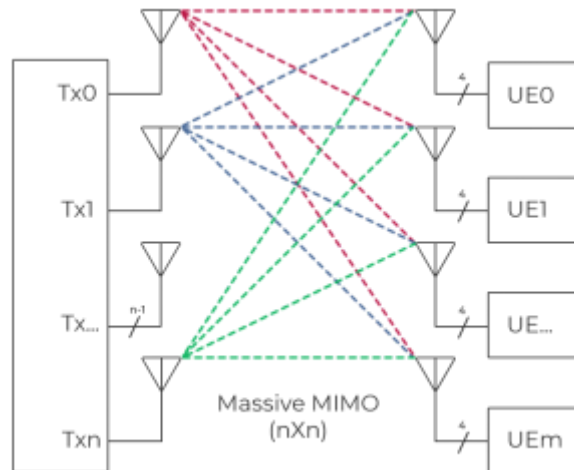
Technológia umožňujúca násobiť kapacitné zdroje [9] pre všetky mobilné terminály komunikujúce s vysielačcou stanicou, čo umožňuje dosahovať vysoké dátové rýchlosti.

Massive MIMO sa snaží o zlepšenie v týchto oblastiach:

- **Zvýšenie dátových rýchlostí** - viac antén, viac nezávislých tokov dát

- **Konektivita používateľa** - viac antén umožňuje väčšiu schopnosť redundancie spojenia
- **Energetická efektivita** - vysielač stanica môže smerovo obsluhovať mobilné terminály so znalosťou ich polohy
- **Zníženie interferencie** - tvorba laloku k jednotlivým terminálom, bez vzájomného ovplyvňovania, rušenia

Mobilná stanica dokáže s použitím viacerých anténnych prvkov sústrediť Beam k danému užívateľovi - mobilnému terminálu. S využitím Massive MIMO technológie je možné zvýšiť prenosovú rýchlosť 3 až 5-násobne. Navýšená je aj kapacita 5G siete, nakoľko jedna MIMO anténa dokáže komunikovať s viacerými mobilnými terminálmi súčasne.



Obr. 11 - Massive MIMO - princíp funkčnosti

Zdroj: <https://halberdbastion.com/resources/wireless/mimo/massive-mimo>

Mobilný terminál musí byť taktiež vybavený MIMO anténami, ktoré mu umožňujú zvýšiť prenosovú rýchlosť a komunikovať s viacerými anténami vysielač stanice súčasne. Z toho dôvodu sa vyžaduje kompatibilný hardvér pre 5G siete. Súčasný mobilný telefóny s podporou LTE, 3G sú pre 5G nedostačujúce už len z pohľadu použitého hardvéru, ktorý je stavaný frekvencie 800 / 1800 MHz. Riešením je kúpa nového zariadenia podporujúceho 5G siete. Mobilné terminály pre 5G siete sú vybavené väčšinou 2x2, prípadne 4x4 MIMO anténami.

Technológia Massive MIMO sa neustále vyvíja. Dôkazom je aj Massive MIMO 2. generácie [10], ktorý umožňuje efektívnejšie tvarovanie lúčov - Beamov k jednotlivým mobilným terminálom. Tým je možné zvýšiť kapacitu vysielač stanice. V porovnaní s Massive MIMO 1. generácie je dosah lúčov 1,5-násobne vyšší.

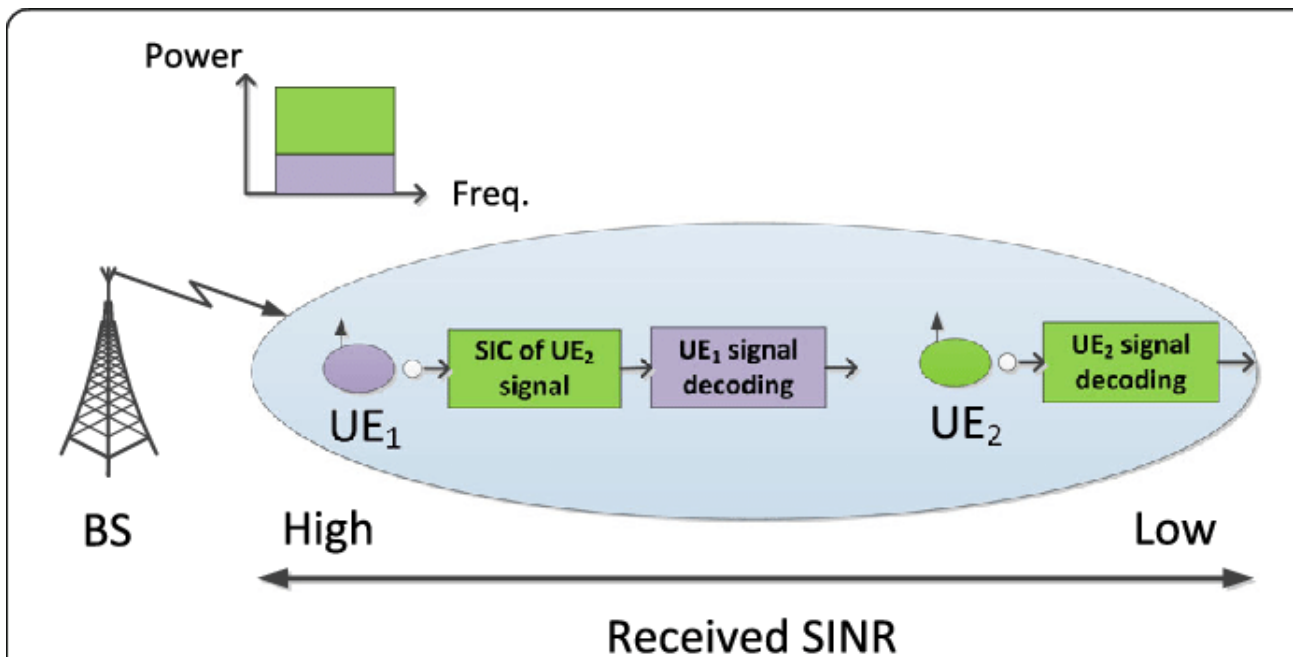
Využitie technológie MIMO je populárne aj v 60 GHz WiFi sieťach (802.11ad, 802.11ay), ktoré umožňujú adaptívne upravovať vyžarovacie charakteristiky vysielač antén na základe umiestnenia mobilného terminálu v miestnosti.

MIMO prináša aj možnosť obojsmernej komunikácie (Full-duplex) v reálnom čase, nakoľko je možné využívať viacero odosielacích (TX) a viacero prijímacích (RX) antén v reálnom čase. Doterajšie bezdrôtové komunikačné systémy používali half-duplex, alebo full-duplex komunikáciu avšak nedosahovali dátové rýchlosti v Gbps.

NOMA

Technológia NOMA [11] (Non-orthogonal multiple access) vychádza z modelu nepravouhlého viacnásobného prístupu. V mobilných sieťach predchádzajúcich generácii sa využívali viacnásobné prístupy v závislosti od času, frekvencii, pričom využívali pravouhlý spôsob prístupu. V 4G sieťach existoval pravouhlý viacnásobný prístup, ktorý používateľovi vyhradil kanál, respektíve viacero kanálov v závislosti od možností zariadenia, dátovej náročnosti aplikácii, ktoré smartfón využíval.

Pri využití nepravouhlého viacnásobného prístupu v 5G sieťach sa využíva možnosť zdieľania rovnakého kanálu rôznymi signálmi, čím je možné prenášať viac druhov dát. To umožňuje zvýšiť prenosovú kapacitu. Tento model je navrhnutý pre spektrálnu efektívnosť prenosu a pre energetickú efektívnosť aj z pohľadu mobilného terminálu.



Obr. 12 - Model NOMA s dátami pre dvoch používateľov, rozlíšené SIC-om

Zdroj:

https://www.researchgate.net/publication/310819836_Interference_cancellation_for_non-orthogonal_multiple_access_used_in_future_wireless_mobile_networks

Nakoľko signály v rovnakom kanáli môže zdieľať aj viacero používateľov, je nutné, aby každý mobilný terminál vedel rozlíšiť a prebrať svoje dáta a následne ich dekódovať. Prostredníctvom SIC (successive interference cancellation) vie mobilný terminál rozlíšiť svoje dáta. SIC využíva aj vysielacia stanica, ktorá umožňuje rozlišovanie používateľov prostredníctvom SIC-u pre uplink a downlink.

Internet vecí

Internet vecí [12] (IoT) existuje aj v súčasnosti s využitím existujúcich technológií na káblovej, či bezdrôtovej báze. Služi predovšetkým na automatizáciu, ovládanie rôzneho druhu, zber údajov. Internet vecí sa zaujíma predovšetkým o pripojenie vecí do internetu.

IoT siete môžeme rozdeliť do kategórií:

- **Distribuované**

- **Decentralizované**
- **Centralizované**

Distribuovaná IoT sieť využíva zariadenia, ktoré sú schopné v sieti fungovať autonómne a komunikovať s ďalšími zariadeniami v sieti. Každé autonómne zariadenie musí disponovať určitým výpočtovým výkonom, úložiskom. Úložisko môže byť využité pre konfiguračné nastavenia zariadenia, použitý softvér, program, uchovávanie hodnôt zaznamenaných senzormi, história fungovania, akcií, ktoré zariadenie vykonalo.

Decentralizovaná IoT sieť využíva organizačnú štruktúru, čo znamená, že zariadenia sú zoskupené do menších skupín so super-zariadeniami. Super-zariadenia umožňujú komunikáciu zariadení s inou skupinou zariadení v IoT decentralizovanej sieti, plnia úlohu smerovača. Tento typ IoT siete nemá bod, ktorého znefunkčnením by prestala fungovať aj celá sieť zariadení. Jednotlivé zariadenia (body) v sieti nemusia mať vysoký výpočtový výkon, nakoľko komunikáciu realizuje super-zariadenie. Implementácia je náročnejšia z pohľadu realizácie, vyžaduje sa viac druhov zariadení využívaných v sieti.

Centralizovaná IoT sieť využíva architektúru so serverom - centrálnym bodom. Server spravuje všetky body - zariadenia v sieti, prijíma dáta od jednotlivých bodov a prideluje úlohy iným bodom v sieti. Tento typ siete je ľahký na implementáciu, bezpečný, navrhnutý pre architektúru klient - server. Sieť obsahuje centrálny bod, ktorého znefunkčnením dôjde k znefunkčneniu siete. Z toho dôvodu musia byť zariadenia v sieti dostatočne dimenzované na autonómny chod aj v prípade výpadku centrálného zariadenia - servera, alebo konektivity.

S príchodom 5G siete sa IoT posúva na nový level - loE [13], Internet všetkého. loE umožňuje do siete pripojiť rôzne nové zariadenia a zbierať dáta, ktoré doteraz nebolo možné zaznamenať v reálnom čase. loE je zameraný na: dáta, procesy, ľudí, zariadenia, teda rozširuje IoT o ďalšie oblasti, pričom všetky aspekty zrýchľuje s využitím 5G siete - prenos, interakcia v reálnom čase bez oneskorenia. To umožnilo rozvoj autonómnych vozidiel, ktoré vyžadujú komunikáciu v reálnom čase. Kategórie loE siete vychádzajú predovšetkým z IoT, môže byť centralizovaná / decentralizovaná.

Dáta (v loE) → Informácie generované ľuďmi a vecami. Na základe analytických nástrojov (Big Data) a spracovania je možné poskytnúť výstup. Na základe výstupu je možné efektívne rozhodovanie, dosiahnutie lepších výsledkov.

Proces → Slúži na prepojenie dát s ľuďmi a zariadeniami. Proces sa stará o doručenie informácie v správny čas správne mu človeku, zariadeniu (veci) najrelevantnejším spôsobom.

Ľudia → Entita v loE popisujúca nové komunikačné spôsoby (Ako ľudia komunikujú?) využívané (aj v 5G sieťach). Využitie nositeľnej (wearable) elektroniky pre nové typy komunikácie medzi ľuďmi.

Veci → Fyzické zariadenia pripojené do internetu a medzi sebou. Zariadenia snímajú a zhromažďujú údaje. Uvedomujú si ich kontext a dôležitosť. Lepšie dáta reprezentujú strojom, ľuďom.

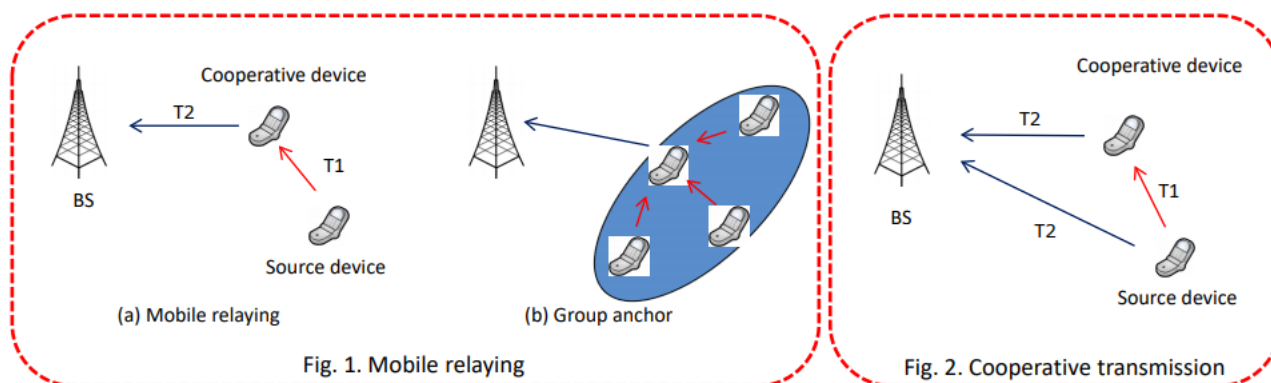
Typy komunikácie v 5G sieťach

S príchodom 5G sietí prichádzajú aj nové spôsoby komunikácie a možnosti využitia zariadení tak, ako to doteraz nebolo možné. Nové typy komunikácie vznikli hlavne z dôvodu nízkej odozvy sietí, čo umožňuje využitie týchto metód komunikácie v reálnom čase.

Medzi najpoužívanejšie typy komunikácie patria:

- **Device-to-Device (D2D)** - Komunikácia zariadenie-zariadenie
- **Machine-to-Machine (M2M)** - Komunikácia stroj-stroj
- **Human-to-Human (H2H)** - Komunikácia človek-človek
- **Human-to-Machine (H2M)** - Komunikácia človek-stroj
- **Machine-to-Human (M2H)** - Komunikácia stroj-človek
- **Vehicle-to-Vehicle (V2V)** - Komunikácia vozidlo-vozidlo
- **Vehicle-to-Everything (V2X)** - Komunikácia vozidlo so všetkým

Device-to-Device [14] je novým typom komunikácie medzi zariadeniami, ktoré prichádza s využitím 5G sietí. Tento typ komunikácie umožňuje vytvoriť spojenie priamo medzi mobilnými terminálmi, čo umožňuje zvýšiť kapacitu siete a znížiť spotrebu zariadení.



Obr. 13 - Typy Device-to-device komunikácie z hľadiska kooperácie

Zdroj: https://data.kemt.feit.tuke.sk/Mobilne_Komunikacie/assets/materials/Prednaska_3.pdf

Existujú dva druhy Device-to-Device komunikácie z pohľadu kooperácie:

- **Mobilné prepínanie** - jedno zo zariadení (kooperačné zariadenie) komunikuje s vysielacou stanicou 5G siete. S týmto zariadením môže komunikovať jedno (zdrojové zariadenie), alebo viac zdrojových zariadení - skupina.

Jedno zo zariadení tak umožňuje smerovať a riadiť komunikáciu. Životnosť komunikácie je po dobu vybitia batérie smerovacieho zariadenia, tým stratí konektivitu zdrojové zariadenie s vysielacou stanicou..

- **Kooperačné spojenie** - obe zariadenia komunikujú s vysielacou stanicou, pričom zdrojové zariadenie komunikuje aj s druhým - kooperačným zariadením, ktoré taktiež komunikuje s vysielacou stanicou. V prípade vybitia batérie smerovacieho zariadenia je zdrojové zariadenie stále schopné komunikovať s vysielacou stanicou.

Komunikácia typu Device-to-Device vo všeobecnosti umožňuje lepšiu load-balancing 5G sietí. Využitie sa týka predovšetkým preberania rovnakých dát celou skupinou zariadení - live prenosy, sťahovanie rovnakého súboru - blokov dát. Výhodou je nízka dátová odozva medzi zariadeniami,

hlavné zariadenie je schopné distribuovať v reálnom čase rovnaké dáta všetkým v skupine zariadení na spôsob Multicastu. Pri využití skupiny 3 koncových zariadení a 1 smerovacieho zariadenia, ktoré majú medzi sebou Device-to-device komunikáciu je možné znížiť záťaž 5G siete 3-násobne, nakoľko je informácia odoslaná iba na prvé zariadenie mobilnou sieťou z vysielačkej stanice.

Machine-to-Machine [15] komunikácia vychádza z konceptu prenosu informácií medzi zariadeniami v reálnom čase komunikačným kanálom. S príchodom 5G siete sa očakáva, že sa do internetu pripoja milióny zariadení. V prípade existujúcich sieťových infraštruktúr to bude mať vplyv na zvýšenie odozvy zariadení a siete celkovo. 5G sieť ponúka neporovnateľne rýchlejšiu odozvu oproti existujúcim mobilným technológiám. Výrazne sa odozva nezvýši ani s pripojením takého množstva komunikujúcich zariadení.



Obr. 14 - Machine-to-Machine komunikácia v priemysle, doprave

Zdroj: <https://epicentre-group.com/?services=machine-to-machine-internet-of-things>

To umožní komunikáciu miliónov zariadení v reálnom čase bez výrazného vplyvu na odozvu. Typ komunikácie Machine-to-Machine nájde využitie predovšetkým v priemysle, automatizácii ale aj v zdravotníckej sfére. Úzko súvisí s Internetom vecí. Zariadenia komunikujúce medzi sebou si dokážu v reálnom čase vymeniť informácie a rozhodovať sa.

Rozvoj v tejto oblasti zaznamenali predovšetkým autonómne vozidlá, kde je extrémne nízka odozva prioritou pre rozhodovanie a prenos informácií ale taktiež aj vo výrobnom priemysle - Industry 4.0 a podobne. Industry 4.0 prinesie možnosti strojovej výroby v celom výrobnom procese, ale aj nové možnosti kontroly výrobných procesov a postupov. Nakoľko sú 5G siete aj efektívne z pohľadu spektra a efektívnosti prenosu, šetria tým pádom aj batériu zariadení využívajúcich sieť pre komunikáciu. Predpoklad prevádzky M2M zariadení na batériu je 8 až 10 rokov.

Human-to-Human komunikácia sa radí k najnovším druhom komunikácie vôbec. Prináša nový pohľad na spôsob komunikácie, zábavy aj z pohľadu zberu a štatistiky údajov. V 5G sieťach sa komunikácia Human-to-Human spája predovšetkým s virtuálnou realitou, alebo rozšírenou virtuálnou realitou. Umožňuje využitie headsetov, cloud-computingu pre komunikáciu, zábavu a

interakciu v reálnom čase medzi ľuďmi. Primárne je Human-to-Human navrhnuté pre prenos dát a hlasu.



Obr. 15 - Human-to-Human komunikácia v praxi

Zdroj:

<https://www.gettyimages.com/detail/news-photo/attendees-wear-oculus-rift-hd-virtual-reality-head-mounted-news-photo/461621847>

Human-to-Machine [16] je koncept komunikácie človeka so zariadením - strojom. Vďaka nízkej odozve 5G sietí bude možné komunikovať so zariadením bez oneskorenia. Ovládanie zariadení bude možné hlasom, zmyslami, myšlienkami. To umožní komunikáciu aj hendikepovaným osobám spôsobom, aký nebolo možné doteraz využiť.

Tento typ komunikácie nájde využitie aj v medicínskych zariadeniach pri náročných operáciách, ktoré si vyžadujú špecialistov, častokrát z iných krajín. Doktor - špecialista bude schopný operovať pacienta prostredníctvom zariadenia (napríklad laparoskopu), ktorý umožňuje snímať a prenášať pohyby rúk bez nutnosti špecialistu na mieste. 5G sieť s ultra nízkou odozvou je pre tento typ komunikácie obrovským prínosom.

Človek môže so strojom komunikovať radou dostupných prostriedkov, napríklad cez počítačový program, informačný systém, monitor, grafické rozhrania, hlasom, myšlienkami, gestikuláciou, pohybom tela, rúk.

Machine-to-Human [17] vychádza z komunikácie stroja s človekom. Tento typ komunikácie vznikol s podporou trendu umelej inteligencie. Stroj s umelou inteligenciou je schopný komunikovať s človekom komunikačným kanálom a informovať ho o dátach, zisteniach, je schopný sa učiť novým veciam. Stroj vie spracovať dáta zo senzorov, vytvárať štúdie, analýzy a štatistiky.

Stroj je schopný informovať človeka o dôležitých údajoch a dátach. Využitie v priemysle je jednou z nosných oblastí. Inteligentný stroj vie spravovať, distribuovať a informovať o skladových zásobách, automatizovane objednávať zásoby, automatizovane vyrábať výrobky, je schopný informovať vedenie o aktuálnom stave, široko využívané v priemysle Industry 4.0.

Medzi Machine-to-Human komunikáciu môžeme zaradiť aj rôzne systémy pre overenie človeka,

napríklad prostredníctvom biometrických technológií (overenie odtlačkom prsta, skenovaním oka). Stroj realizuje overenie, vyhodnotí biometrické dáta človeka a informuje ho o výsledku overenia, môže vykonať akciu, napríklad automatizované otváranie dverí. V prípade hierarchických systémov je možné informovať ďalšie - kompetentné osoby.

Keďže stroje majú istú dávku inteligencie, sú schopné učiť sa novým veciam (rozvoj umelej inteligencie), napríklad návykom človeka, ktoré im umožňujú efektívnejšie pracovať a vyhodnocovať dáta. Stroj môže do istej miery prebrať aj akcie človeka v riadení, automatizácii, regulácii. Inteligentné osvetlenie na základe senzorov dokáže rozoznať človeka a zažnúť osvetlenie, informovať ho o počasí, otvorených oknách pri odchode z domu, dokáže riadiť termostat a vykurovanie v domácnosti.

Vehicle-to-Vehicle je typ komunikácie [18], ktorý vznikol s príchodom autonómnych vozidiel pre potreby komunikácie medzi týmito entitami v 5G sieťach. Tento typ komunikácie sa stále vyvíja a existuje v niekoľkých verziách. Prvá verzia V2V komunikácie obsahovala iba základnú komunikáciu medzi vozidlami, napríklad s výstupom pre vodiča na obrazovke napríklad s varovaním, že je pred ním červená na semaforochoch, alebo, že sa blíži ku kolóne áut. Vo vyšších verziách V2V komunikácie môže vozidlo prevziať riadenie, vyhnúť sa prekážke.

Dáta, ktoré si vozidlá vymieňajú môžu byť:

- Rýchlosť
- Poloha (GPS)
- Smer jazdy
- Brzdenie
- Strata stability

Vozidlá komunikujú na frekvencii 5,9 GHz, tj. v Sub-band 6 GHz, prípadne na frekvenciách od 3 GHz do 6 GHz v závislosti od typu použitej antény. Dosah komunikácie medzi vozidlami je až 300 metrov. V2V je typom mesh siete. To umožňuje každému vozidlu získať a preposlať informácie. Pri 5-10 uzloch v sieti je možné predpovedať a informovať o doprave a dopravných informáciách viac ako kilometer dopredu.

Do tohto typu komunikácie sa často radí aj V2I / V2D / V2G komunikácia [19]. Jedná sa o komunikáciu Vehicle-to-infrastructure. Táto komunikácia zahŕňa komunikáciu vozidla so smart inteligentným zariadením, napríklad semaforom. V prípade sanitiek, alebo iných vozidiel integrovaného záchranného systému je semafor schopný otvoriť križovatku v smere, ktorým potrebuje toto vozidlo prejsť. Do týchto systémov môžeme zaradiť aj inteligentné systémy schopné štatisticky predpovedať dopravnú situáciu na základe informácii o aktuálnej hustote dopravy.

Druhým typom spomenutej doplnkovej komunikácie je Vehicle-to-device. Tento mechanizmus slúži na výmenu informácií medzi vozidlom a zariadením, ktoré je pripojené k vozidlu. Umožňuje to predovšetkým využiť smartfón pre zjednodušenie interakcie vodiča s vozidlom, ale aj s ostatnými vozidlami v premávke.

Zariadenie môže slúžiť aj ako identifikátor vodiča, ktorým je vodič schopný vozidlo otvoriť a naštartovať - bezkľúčovo. Medzi zariadenie môžeme však zaradiť aj diagnostické systémy pre získavanie informácií o jazde vozidla a ich vyhodnocovanie pre odhalenie a opravu porúch v reálnom čase (riešenie softvérových porúch).

Vehicle-to-Grid (V2G) je systémom komunikácie medzi vozidlom a nabíjacou stanicou [20]. Tento typ komunikácie vznikol pre elektrické automobily, hybridy s prihliadnutím na obnoviteľné zdroje energie. Vozidlo komunikujúce s nabíjacou stanicou je schopné dodávať do elektrickej siete energiu z vlastných batérií, alebo inteligentne riadiť nabíjací prúd v závislosti od dopytu a ponuky elektrickej energie. Z tohto pohľadu môžeme túto komunikáciu rozdeliť na jednosmernú, alebo obojstrannú komunikáciu. Vozidlo môže prúd prijímať zo siete (jednosmerná komunikácia), alebo ho do siete aj dodávať (obojsmerná komunikácia).

Vehicle-to-Everything (V2X) je typom komunikácie [21], ktorá združuje komunikáciu vozidla so všetkými entitami, ktoré môžu mať vplyv na vozidlo a opačne. Obsahuje aj typy komunikácií spomenutých vyššie. Rozširuje sa aj o komunikáciu Vehicle-to-Pedestrian (V2P), ktorá umožňuje predvídať kolíziu s cyklistom, chodcom a vozidlo je ich schopný rozoznať. Hlavný prínosom je zvýšenie bezpečnosti na cestách. Medzi typ informácií, ktoré sa z pohľadu použitia vyskytujú v tejto V2X komunikácii môžu byť:

- Varovanie kolízneho systému
- Varovanie o zmene smeru jazdy
- Varovanie na objekt v zóne mŕtveho uhla
- Asistent prejazdu križovatkou
- Príchod vozidla integrovaného záchranného systému
- Upozornenie o prácach na cestách
- Tvorba kolón, obmedzení na cestách

V2X komunikácia je základom pre tvorbu a vývoj autonómnych vozidiel. Neustále sa vyvíja, prichádzajú nové štandardy, prototypy vozidiel pre obsiahnutie tohto typu komunikácie aj pre mmWaves v 5G sieťach. Projekt 3GPP zastrešuje vytvorenie štandardov podporovaný pre mobilných operátorov LTE, respektíve 5G sietí pre rôzne typy komunikácií, aj pre V2X komunikáciu - štandard C-V2X (cellular). Odhaduje sa, že implementácia V2X komunikácie do dopravy zníži počet nehôd až o 13 percent.

Štandard C-V2X vo verzii 14 podporoval 4G (LTE) siete a ich implementáciu pre autonómne vozidlá. Vo verzii 15 štandard C-V2X podporuje 5G siete. Komunikácia prebieha priamo medzi vozidlami - obdoba Device-to-Device komunikácie, nazývaná aj Side-link s PC5 rozhraním. Nevyžaduje sa vysielacia stanica pre spojenie dvoch komunikujúcich bodov.

V podobnosti k V2X komunikácii môžeme priradiť aj Vehicle-to-Network komunikáciu, ktorá umožňuje využívať broadcast / unicast pre komunikáciu. Tento typ umožňuje vysielateľ broadcast v prípade havárie, alebo podobnej nehodovej udalosti všetkým vozidlám v dosahu, alebo aj ďalším s využitím aplikačného servera V2X, ktorý umožňuje broadcastom posielateľ správy väčšiemu počtu vozidiel v okolí, napríklad v meste. Využitie tohto servera môže mať za následok optimalizáciu pri výbere trás autonómnych vozidiel na základe aktuálnej situácie na cestách, pričom sú informácie vždy v reálnom čase aktualizované.

C-RAN

Centralizovaná (Cloudová) architektúra prístupu k mobilným sieťam [22] s podporou pre 5G. Oproti štandardnému prístupu k mobilnej sieti (RAN) umožňuje poskytovať nové služby mobilnej siete, virtualizovať zdroje v podobe základňových jednotiek. Mobilní operátori budú môcť centralizovane prinášať nové možnosti a služby poskytované v ich mobilnej sieti a taktiež ju bude možné centralizovane riadiť, spravovať.

C-RAN má tri základné komponenty, nazývané aj entity:

- **BBU stack** - (Base Band Unit)
- **RRU sieť** - (Remote Radio Unit)
- **Fronthaul** (prenosová sieť)

BBU stack - zariadenia umiestnené v cloude, dátových centrách. Každé zariadenie stacku má vysoký výpočtový výkon a dostupné úložisko. Zariadenie slúžia na spracovanie informácií a distribúciu dát ku konkrétnej RRU sieti.

RRU sieť - bezdrôtová sieť, ktorá spája mobilné terminály s vysielacou stanicou (RRU) - oblasť pokrytia

Fronthaul - sieť spájajúca RRU s BBU optickou trasou, alebo bezdrôtovou komunikáciou (mmWaves). BBU poskytuje služby pre skupinu RRU. Optické vlákna poskytujú dostatočnú šírku pásma pre prenos, implementácia je zložitejšia, finančne náročnejšia. Komunikáciu s využitím mmWaves je možné ľahko nasadiť, lacnejšia technológia ako optické vlákna - avšak poskytujú menšiu šírku pásma ako optické vlákna.

Rozdelenie C-RAN architektúry závisí od toho, kde sú spracúvajú funkcie fyzickej, MAC a sieťovej vrstvy. Do funkcií fyzickej vrstvy môžeme zahrnúť spracovanie v rádiovnej frekvencii, zatiaľ čo MAC sú mechanizmy riadenia prístupu a sieťová vrstva je smerovacím mechanizmom.

Vzhľadom na funkcionálnu BBU a RRU C-RAN architektúru rozdeliť na:

- **Plne centralizovaná** - fyzická, MAC a sieťová vrstva je presunutá na BBU do cloudu / dátových centier. BBU stack všetko riadi, spracováva informácie. Obsluha a údržba takéhoto systému je jednoduchá. Tento typ centralizácie musí mať dostatočne dimenzovaný BBU stack, ktorý vykonáva všetky sieťové MAC a fyzické vrstvy, obsluhuje komunikáciu, komunikuje s RRU
- **Čiastočne centralizovaná** - Funkcia fyzickej vrstvy sa vykonáva na strane RRU, MAC a sieťová vrstva funguje v cloude na BBU. Výrazné zníženie záťaže na RRU-BBU komunikácii, nakoľko výpočtová časť fyzickej vrstvy je najnáročnejšia spomedzi spomenutých vrstiev. Táto štruktúra nepodporuje zdieľanie prostriedkov fyzickej vrstvy medzi rôznymi RRU
- **Hybridná centralizovaná** - časť funkcií fyzickej vrstvy sa vykonáva na RRU, zatiaľ čo iné na BBU stacku. RRU preberá zodpovednosť za funkcie pre vysielacie stanice, ktoré súvisia so spracovaním signálu. Táto štruktúra je najflexibilnejšia v oblasti zdieľania zdrojov, potenciál štruktúry je aj v znížení spotreby energie

Protokol CPRI [23] (Common Public Radio Interface) definuje rozhranie, ktorým komunikuje vysielacia (RRU) stanica s dátovým centrom (BBU stackom) prostredníctvom Fronthaul siete. Tento protokol je používaný a navrhnutý pre 4G siete. Pre siete typu 5G musel byť pôvodný CPRI protokol rozšírený, nakoľko využíva malú šírku pásma.

Rozšírený protokol CPRI - eCPRI rozširuje pôvodnú šírku pásma až 10-násobne, rádovo na stovky MHz. Protokol eCPRI umožňuje zapuzdriť pakety do Ethernetu, čím je možné výrazne zredukovať oneskorenie. Výhodou je aj kompatibilita s Ethernet-premostenými sieťami. Fronthaul sieť sa nazýva aj časovo citlivou sieťou.

Organizácia IEEE (Inštitút pre elektrotechnické a elektronické inžinierstvo) vydala štandard pre časovo citlivé siete IEEE 802.1CM. Štandard umožňuje prepojenie Fronthaul infraštruktúry

prostredníctvom Ethernet-premostených sietí. Cieľom štandardu je synchronizovať prevádzku, časovo ju plánovane riadiť, čo umožňuje dosiahnuť vysokú spoľahlivosť aj pri vysokých dátových tokoch vo viac ako desiatkach Gbps.

Štandard je navrhnutý pre uprednostnenie paketov pre Fronthaul. Priorita je maximálna voči iným dátovým tokom, ktoré sa na komunikačných kanáloch vyskytujú. Tento štandard je navrhnutý priamo pre eCPRI protokol. Štandard je vhodný pre koexistenciu 4G a 5G siete, pričom umožňuje dátovým centrám (cloudu) fungovať ako rozbočovače medzi 4G a 5G sieťami.

Keďže 4G vychádza z CPRI, musia byť aj jej pakety zapuzdrené do eCPRI protokolu. Zapuzdrenie a opačný proces vykonávajú takzvané paketové prepínače. Funkciu zapuzdrenia (enkapsulácie) a dekapsulácie definuje štandard IEEE 1914.3 RoE - Radio over Ethernet. Tento štandard spoločne s eCPRI umožňuje zvýšiť prenosovú kapacitu, minimalizovať oneskorenia dátovej komunikácie práve prioritou fronthaul paketov.

C-RAN architektúra sa zaslúžila aj o možnosti sieťovej virtualizácie. Jednotky BBU môžu byť virtualizované na jednom fyzickom zariadení - hardvéri. Každéj virtuálnej BBU jednotke je priradená časť hardvéru, ktorú využíva. Hardvér musí byť dostatočne dimenzovaný pre BBU jednotky, pričom dokáže v reálnom čase reagovať na zaťaženie siete a robiť load balancing na dostupných virtualizovaných BBU jednotkách.

Výhodou je ľahká škálovateľnosť počtu BBU jednotiek, centralizované spúšťanie fyzického hardvéru, ktorý obsluhuje všetky BBU jednotky a taktiež cena takéhoto riešenia. Implementácia všetkých BBU jednotiek v systéme vyžaduje iba jeden hardvérový prvok - server / počítač. Reštart celého systému v prípade výpadku siete je rýchly, centralizovaný s vysokou schopnosťou ihneď nasadiť virtualizované BBU jednotky.

Technológia softvérovo definovaných sietí (SDN) umožňuje virtualizáciu [24] v C-RAN architektúre. Umožňuje centralizovanú správu a programovú konfiguráciu bezdrôtovej (5G) siete. Využitie tejto technológie existuje pre všetky typy sietí (mobilná, fixná, wide-area, LAN). Prináša možnosti distribúcie nových služieb 5G siete centralizovane. Cieľom je zlepšiť výkon siete, monitoring v štýle cloud-computing. Centralizácia dodáva sieti väčšiu flexibilitu, riadenie, riešenie problémov.

Oddeľuje kontrolu od dát a presúva ju na do centrálného bodu v celej sieti. Sieťové prepínače sa považujú za odovzdávacie zariadenia, ktoré monitoruje centralizovaný bod. V prípade C-RAN architektúry sú prepínače v podstate jednotky BBU, ktoré sú virtualizované na centrálnom hardvéri.

Komponenty architektúry v SDN:

- Aplikácia
- Ovládač
- Dátový tok
- Rozhranie riadenia dátovej roviny
- Viazané rozhrania

Aplikácia SDN - programy, ktoré priamo oznamujú svoje sieťové požiadavky na správanie sa ovládača SDN prostredníctvom viazaných rozhraní. Pre rozhodovacie účely využívajú abstraktný pohľad na sieť.

Ovládač SDN - centralizovaná entita zodpovedná za preklad požiadaviek z aplikačnej vrstvy do dátových ciest. Poskytuje aplikácie SDN s abstraktným pohľadom na sieť. Skladá sa z jedného, alebo viacerých viazaných rozhraní, riadiacej logiky a rozhrania riadenia dátovej roviny

Dátový tok SDN - logické sieťové zariadenie, spracováva a preposiela údaje, zodpovedá za prenos. V jednom fyzickom prvku môže byť integrovaných viacero komunikačných zdrojov.

Rozhranie riadenia dátovej roviny SDN - rozhranie medzi ovládačom a dátovým tokom. Programovo riadi distribúciu správ, oznámení, udalostí v sieti.

Viazané rozhrania SDN - rozhrania riadiace sieť na základe aktuálnych požiadaviek, dátového zaťaženia a iných faktorov, ktorým sa sieť prispôbuje v reálnom čase počas prevádzky.

Medzi najznámejšie SDN pre C-RAN architektúru patria:

- SoftRAN (Software Defined Radio Access Network)
- MobileFlow
- CROWD

Záver

Cieľom referátu je priblížiť technológiu 5G sietí, zhodnotiť výhody, nevýhody tejto technológie oproti predchádzajúcim generáciám mobilných sietí. Zaujíma sa o problémy šírenia milimetrových vln, ktoré využíva v extrémne vysokých frekvenciách. Referát približuje využitie technológie pre priemysel, mestá, autonómne vozidlá, obyvateľstvo, opisuje využitie nových spôsobov komunikácie a aplikácii.

Približuje najpoužívanejšie typy antén v 5G sieťach z hľadiska konštrukcie a smerovosti. Sú opísané v samostatnej kapitole rozšírené o základné typy vysielacích staníc - Small Cells používaných v 5G sieťach s opisom technológií využívaných v tejto mobilnej sieti pre skvalitnenie služieb a ultra nízku odozvu.

Značná časť referátu je venovaná základným typom komunikácii obsiahnutých v 5G sieti. Opisuje možnosti komunikácie človeka s človekom, strojom, zariadením, ale aj komunikáciu medzi zariadeniami, či vozidlom s mestskou infraštruktúrou, inými vozidlami s autonómnou prevádzkou. Záverečná časť sa venuje architektúre C-RAN pre 5G siete a jej možnostiam centralizácie s využitím virtualizácie prostredníctvom softvérovo definovaných sietí.

Zoznam použitých obrázkov

Obr. 1 Dosah a pokrytie zariadení v 4G a 5G sieti	1
Obr. 2 Problémy šírenia milimetrových vln v 5G sieťach	2
Obr. 3 Riešenie problému šírenia milimetrových vln v 5G sieťach väčším počtom antén	3
Obr. 4 Typy používaných antén v rádiových sieťach	4
Obr. 5 Frekvenčne rekonfigurovateľná magneto-elektrická dipól anténa	5
Obr. 6 Polarizačne rekonfigurovateľná magneto-eletrická dipól anténa	5
Obr. 7 Magneto-elektrická dipól anténa s postrannými úzkopásmovými anténami	6
Obr. 8 Anténové pole 4x8	8
Obr. 9 Metóda Beamforming - Beam ku každému používateľovi	10
Obr. 10 Výstup simulácie v prostredí MATLAB v pravouhlom súradnicovom systéme	11
Obr. 11 Massive MIMO - princíp funkčnosti	12
Obr. 12 Model NOMA s dátami pre dvoch používateľov, rozlíšené SIC-om	13
Obr. 13 Typy Device-to-device komunikácie z hľadiska kooperácie	15
Obr. 14 Machine-to-Machine komunikácia v priemysle, doprave	16
Obr. 15 Human-to-Human komunikácia v praxi	17

Zoznam použitej literatúry

- [1]. ANDREWS, J. G. a iní., "What Will 5G Be?," v IEEE Journal on Selected Areas in Communications, s. 1065-1082, Jún 2014.
- [2]. GIORDANI, M. a iní., "Initial Access in 5G mmWave Cellular Networks," v IEEE Communications Magazine, s. 40-47, November 2016.
- [3]. LEI G. a iní., "Antennas and Circuits for 5G Mobile Communications," [online] Hindawi - Open Access Publisher [cit 2018-06-07].
Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/3249352/>
- [4]. DE NARDIS, L. a iní., "Reconfigurable Magneto-Electric Dipole Antennas for Base Stations v Modern Wireless Communication Systems," [online] Hindawi - Open Access Publisher [cit 2018-05-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2018/2408923>
- [5]. Katalógový list - AWS Microwave Antenna System Relocation Kit [online]. RADIO FREQUENCY SYSTEMS. [cit. 2006-08-08].
Dostupné z: http://products.rfsworld.com/userfiles/pdf/18ghz_aws_relocation_kit.pdf.
- [6]. ZHANG, X. a iní., "5G Millimeter-Wave Antenna Array: Design and Challenges," v IEEE Wireless Communications, s. 106-112, Apríl 2017.
- [7]. PROCHÁZKA, J., "Čo je to základňová stanica BTS?," [online] TECHBOX.SK [cit 2016-09-20].
Dostupné z: <https://techbox.dennikn.sk/temy/147404/>

- [8]. "5G Technologies: Beamforming Explained" [online]. IEEE Spectrum [cit 2017-07-27]. [video súbor]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OidnBOcXvic>
- [9]. MUNDY, J. a iní., "What Is Massive MIMO Technology?," [online] 5G.co.uk [cit 2020-04-20]. Dostupné z: <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>
- [10]. SANGUINETTI, L. a iní., "Towards Massive MIMO 2.0: Understanding spatial correlation, interference suppression, and pilot contamination," v IEEE Transactions on Communications, v.3, Január 2-32019.
- [11]. KIZILIRMAK, C. R., "Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for 5G Networks," [online] IntechOpen, DOI: 10.5772/66048 [cit 2016-12-14].
Dostupné z:
<https://www.intechopen.com/books/towards-5g-wireless-networks-a-physical-layer-perspective/non-orthogonal-multiple-access-noma-for-5g-networks>
- [12]. SHANCANG, L. a iní., "5G Internet of Things: A Survey," [online] IntechOpen, [cit 2018-01-31]. Dostupné z: <https://uwe-repository.worktribe.com/preview/871355/IoT5m.pdf>
- [13]. BANAFI, A., "The Internet of Everything (IoE)," [online] OpenMind: a Knowledge Community [cit 2016-08-29]. Dostupné z:
<https://www.bbvaopenmind.com/en/technology/digital-world/the-internet-of-everything-ioe/>
- [14]. "Lecture 3: D2D communication for 5G" [online]. PAPA, J. [cit 2020-03-26].
[súbor prezentácie].
Dostupné z: https://data.kemt.fei.tuke.sk/Mobilne_Komunikacie/assets/materials/Prednaska_4.pdf
- [15]. KALYANI, L. V. a iní., "IoT: Machine to Machine (M2M), Device to Device (D2D) Internet of Everything (IoE) and Human to Human (H2H): Future of Communication," [online] ResearchGate | Find and share research [cit 2015-12-01]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/289249209_IoT_Machine_to_Machine_M2M_Device_to_Device_D2D_Internet_of_Everything_IoE_and_Human_to_Human_H2H_Future_of_Communication
- [16]. SUKIS, J. a iní., "The human-to-machine communication model," [online] IBM Design – Medium [cit 2018-07-11]. Dostupné z:
<https://medium.com/design-ibm/the-human-to-machine-communication-model-d630ec54a12e>
- [17]. ROBERTS, S., "Machine-to-human Communications Are Trending," [online] Canadian Fabricating & Welding [cit 2017-03-13]. Dostupné z:
<https://www.canadianmetalworking.com/canadianfabricatingandwelding/article/automationsoftware/machine-to-human-communications-are-trending>
- [18]. HOWARD, B., "V2V: What are vehicle-to-vehicle communications and how do they work?," [online] ExtremeTech - ExtremeTech is the Web's top destination for news and analysis of emerging science and technology trends, and important software, hardware, and gadgets. [cit 2014-02-06].
Dostupné z:

<https://www.extremetech.com/extreme/176093-v2v-what-are-vehicle-to-vehicle-communications-and-how-does-it-work>

- [19]. SÁNCHEZ, G. M. a iní., "Millimeter wave radio channel characterization for 5G vehicle-to-vehicle communications," v Elsevier, Január 2017.
- [20]. Vehicle-to-grid [online]. Wikipedia, the free encyclopedia [cit 2020-04-18]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>
- [21]. Vehicle-to-everything [online]. Wikipedia, the free encyclopedia [cit 2020-03-31]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-everything>
- [22]. SALMAN, T. a iní., "Cloud RAN: Basics, Advances and Challenges," [online] Washington University in St. Louis - Computer Science & Engineering at WashU, [cit 2016-04-17]. Dostupné z: <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-16/ftp/cloudran.pdf>
- [23]. MENENDEZ, H., "Ethernet for 5G fronthaul," [online] NOKIA.COM [cit 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.nokia.com/blog/ethernet-5g-fronthaul/>
- [24]. HU, F. a iní., "A Survey on Software-Defined Network and OpenFlow: From Concept to Implementation," v IEEE Communications Surveys & Tutorials, s. 2181-2206, DOI: 10.1109/COMST.2014.2326417. Január 2014.