

Simulátor šírenia radarového signálu

Michal Ormoš*

Abstrakt

Cieľom tejto práce, ako samotný názov napovedá je vytvoriť simulátor, ktorý je schopný vo virtuálnom prostredí simulovať celý priebeh zachytávania signálu vyslaného z radaru, cez jeho zjednodušené odrazenie od objektu až po prijatie vracajúceho sa signálu späť do radaru. Problém bol riešený v prostredí Matlab a to simuláciou trojrozmerného priestoru, ktorý obsahuje ľubovoľne rozmiestnené pohybujúce sa body, tie reprezentujú radar a objekty ktoré sleduje. V rámci tohto prostredia sa počítajú, získavajú a spracúvajú všetky potrebné dáta od vzdialeností, uhlov až po výpočty frekvencie a výkonu vracajúceho sa signálu. Výsledkom celej práce je plnohodnotne nasimulované prostredie, ktoré demonštruje celý proces zachytenia objektu radarom a následne jeho zobrazenie v sprektograme, ktorý nesie informácie o objekte pred radarom.

Kľúčové slová: Radar — Simulácia — Matlab

Priložené materiály: [Stiahnuteľný kód](#)

*xormos00@stud.vutbr.cz, Fakulta informačních Technologí, Vysoké učení technické v Brně

1. Úvod

Motiváciou pre vznik tohto projektu bol možný prínos k výskumnej skupine na Fakulte Informačných technológií v Brne, zaoberajúcej sa technológiou využitia radarov. Takýto druh softwaru nemajú k dispozícii a nič podobného charakteru v čase zniku tejto témy projektu, vo svete softwaru ešte nenašli. Radary v dnešnej dobe, na rozdiel od pár desiatok rokov minulých predstavujú veľmi kompaktné a lacné riešenie pre detekciu objektov. Ktoré sa aplikuje pomocou vstavaných zariadení. Preto v dnešnej dobe zažívajú veľký úspech a nachádzajú využitie v mnohých odvetviach. Napríklad v riešeníach v doprave. Čo bola aj naša motivácia.

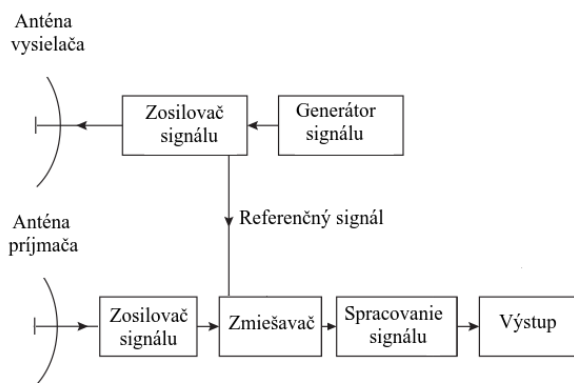
Definícia problému. Potrebujeme simulovať radar a to ako samotnú technológiu. Presné šírenie jeho okom neviditeľného signálu, ktorý sa prenáča priestorom. Tento signál sa môže od niektorých objektov v dohľadnej vzdialenosti odraziť a vrátiť späť do radaru. S informáciou o výkone vyslaného signálu a prijatého signálu sme schopný zistiť napríklad rýchlosť, vzdialenosť, orientáciu pohybu či typ objektu aký pred radarom stojí alebo stál. Využitie radaru si vie každý živo predstaviť v policajných radaroch, námorníctve či letectve. My sme sa zamerali na obecné používané

radara od firmy RFbeam a to model KMC-4, ktorý využívajú pracovníci fakulty.

Existujúce riešenia. Počas teoretickej prípravy tejto práce som nenarazil na žiadne podobné riešenia, ktoré by spracovávali daný problém vo forme simulátora radaru FM-CW(Frequency-Modulated Continuous-Wave), pre detekciu na krátku vzdialenosť. Na fakulte Elektrotechniky a komunikačných technológií VUT v Brne vznikali podobné simulátory, avšak tie sa zameriavalí prevažne na funkciu pulzných radarov.

Naše riešenie pozostáva z vytvorenia simulátora, ktorá zjednodušuje fyzikálne pozadie tohto problému implementáciou Frekvenčného radaru s kontinuálnom vlnou(FM-CW). Ten na rozdiel od pulzného radaru vysiela a prijíma signál nepretržite. Elegantne pomocou rozmiestnených bodov v priestore získava všetky potrebné údaje, ktoré sú ďalej spracované pre získanie výsledných dát. Vytvorili sme ho v programe Matlab, kvôli jeho dobrému implementačnému a grafickému prostrediu.

Príspevok pre vedu a výskum je veľmi jasný. Výskumné skupiny by túto technológiu mohli využívať pri svojej práci, čo by im ušetrilo energiu a snahu v manuálnom budovaní rozmiestnenia radarov a získavaní dát, ktoré by ďalej používali na spracovanie signálov.



Obrázok 1. Blokové schéma radaru.

Simulátor má slúžiť k prvotnému vyhodnoteniu konceptu, teda jeho vstupu. Tzn. rôzne umiestnenie radaru, typ radaru a vhodnými vlastnosťami. Tým to sa vytvorí predvýber a pri reálnych testoch sa pojde na isotu. Rovnako by tento modul mohol slúžiť ako výukový prostriedok pre lepšie pochopenie a názornú ukážku práce radaru interaktívnym spôsobom zmeny prostredia, čo by vyústilo k rôznym výsledkom, ktoré pomôžu študentovi lepšie pochopiť význam a použitie tejto technológie.

2. Radar

Radar (skratka anglického slova **RA**dio **DI**rection **ANd** **R**anging) je elektromagnetický senzor pre detekciu a lokáciu objektov. Jeho všeobecný princíp fungovania môže byť zhrnutý v nasledujúcich bodoch [1][2]:

- Radar vysiela zo svojej antény elektromagnetické vlny, ktoré sa šíria priestorom v určitom smere.
- Niektoré z vysielaných vln sú zachytené objektami, ktoré tento signál pohlcujú a odrážajú, nazývame ich ciele radaru a väčšinou sú v určitej vzdialenosti od radaru.
- Časť tejto energie, je pohltená cieľovým objektom, zvyšok je odrazený naspäť mnohými smermi.
- Niektoré vlny z tejto spätne vysielanej energie sa vrátia naspäť k radaru a sú zachytené radarovým prijímačom umiestnenom na anténe.
- Po zachytení signálu, sú tieto dáta vhodne spracované a analyzované. Vo výsledku zistíme či su získané informácie naozaj požadované dáta z odrazeného cieľového objektu.

2.1 Základné časti radaru

Radar K-MC4 od Švajčiarskej spoločnosti RFBeam Microwave GmbH sme zvolili ako implicitný radar a

budeme to v tejto práci simulovať. Obrázok 1 znázorňuje blokové schéma radaru, ktoré si teraz podrobnejšie rozpíšeme.

1. **Anténa** je to čo spája radar s vonkajším svetom. Dovoľuje šíriť vysielanú energiu z vysieláča, rovnako ako aj zhromažďuje zachytenú energiu odrazenú z cieľa.
2. **Vysielač** je časť radaru, ktorá generuje a vysiela signál v požadovanej vlnovej dĺžke.
3. **Prijímač** zachytáva prijatú odrazenú energiu z cieľa. Vzhľadom na vzdialenosť a materiál objektu od ktorého bol signál odrazený sa bude odvíjať jeho intenzita, ktorá dosahuje veľmi malé hodnoty (väčšinou až 10^{-9} W).
4. **Zosilňovač**, v prípade vysielania signálu je jeho úlohou zosilniť signál pred vyslaním, aby sa napriek jeho diaľke, ktorú musí k cieľu uraziť vrátil čo najintenzívnejší. V prípade prijímania signálu ho taktiež zosilňuje, pretože vracajúci sa signál ja veľmi malý.
5. **Zmiešavač** je veľmi dôležitá časť radaru, ktorá nám na výstupe dáva rozdielovú, teda nízku frekvenciu, pre spracovanie prijatého signálu.

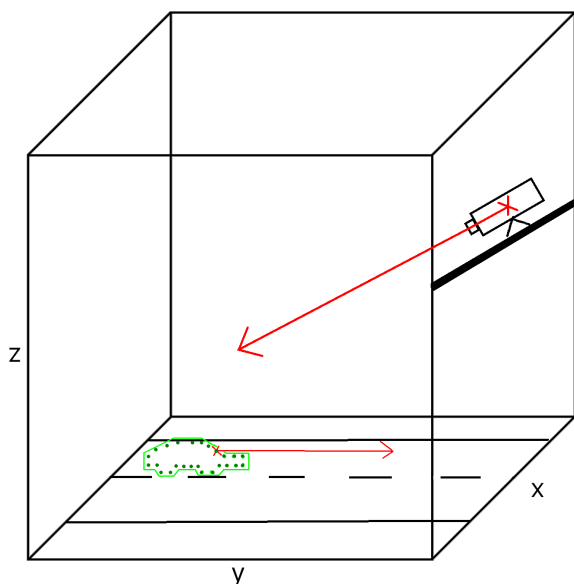
2.2 Dopplerov jav

Dopplerov jav (efekt) popisuje zmenu vlnovej dĺžky prijímaného signálu voči signálu vysielanému. Čo je spôsobené nenulovou vzájomnou rýchlosťou prírmača a vysieláča. Tento jav nenastáva len pri zvuku, no obecnne je pozorovateľný pre ľubovoľné elektromagnetické vlnenie. Vlnová dĺžka vysielaná z vlnového zdroja (zvuku, elektromagnetického žiarenia, svetla, atď.) narazí na pohybujúci sa objekt. V závislosti na smere pohybu tohto objektu, sa vlnové dĺžky "stlačia", alebo "rozťahnu", čo vo výsledku vedie k zmene frekvencie. Odrazený signál so zmenenou frekvenciou sa napríklad pri zvuku prejavý zmeneným tónom pre poslucháča. Teda zmiešaním frekvencie je vo výsledku zmena prechodovej sínusovej frekvencie. Nezáleží či sa pozorovateľ pohybuje k zdroju alebo zdroj k pozorovateľovi [3][4].

Dopplerova frekvencia sa dá vypočítať ako dvojnásobok rozdielu frekvencií ($2f_0$) násobený podielom rýchlosti vozidla (v) k rýchlosti svetla (c_0) a kosínusom uhlu pohybu objektu k pozorovateľovi ($\cos \alpha$), znázornené v rovnici 1.

$$f_{Dopp} = 2f_0 \frac{v}{c_0} \cos \alpha \quad (1)$$

3. Simulačné prostredie



Obrázok 2. Základná predstava priestoru, ktorý budeme simulovať.

3.1 Radar v priestore

V návrhu simulačného prostredia si pre jednoduchosť vysvetlenia predstavme kocku, ktorá tvorí náš priestor pre umiestnenie radaru, objektu a definovanie podmienok, ktoré pre simuláciu radaru potrebujeme. Ako scénu si predstavme meranie rýchlosti na diaľnici s použitím radaru umiestnenom na vyvýšenej mieste, ktorý sleduje vozidlá na vozovke pod ním.

V priestore je teda umiestnený radar, pre predstavu napríklad na diaľničnom moste, ktorého zorné pole smeruje na diaľnicu pod ním, teda objekty, ktoré radar sleduje ho mínajú po jeho vertikálnej ose, teda prechádzajú pod ním.

Radar bude reprezentovaný ako práve jeden nehybný bod v priestore. Tento bod má mať presne určené svoje súradnice v priestore, ktoré charakterizujú jeho polohu. Rovnako obsahuje vektor, ktorý určuje bod kam radar mieri. To znamená, že je nevyhnutne dôležité vedieť kam radar presne mieri počas celej simulácie. Radar bude možné jednoducho natáčať po vertikálnej a horizontálnej ose pomocou jeho vektora. Voliteľne môžeme pridať aj naklonenie radaru na mieste, do strán, obrázok 2.

Bod definujúci polohu radaru bude slúžiť ako miesto pre generovanie signálu a zdroj vysielať paprskov na vektor zorného poľa radaru. Podľa súradníc polohy radaru a vektora radaru sme schopný určiť nevyhnutné uhly a vzdialenosti, ktoré budeme potrebovať pre výpočty simulácie.

3.2 Objekt v priestore

Pre správnu funkciu radaru a získanie čo najväčšieho množstva simulačných dát je potrebné rovnako ako aj

v návrhu samotného radaru, aj čo najpresnejšie popísať objekt na ktorý budeme v simulácii vysielať naše paprsky, teda cieľ radaru.

Objekt preto budeme reprezentovať ako zhuk bodov v určitom tvare, ktorý pripomína objekt reálneho sveta, ako napríklad v našom návrhu, osobné vozidlo.

Každý tento bod objektu, pričom počet bodov ohraničujúci objekt bude vopred určený, bude pre radar vnímaný ako samostatný objekt a bude obsahovať svoje súradnice v priestore. Každý tento bod, sám o seba taktiež objekt bude vykonávať pohyb v priestore, čo bude reprezentovať pohyb celého objektu. Tento pohyb bude reprezentovaný vektorom pohybu bodu, súradnice objektu môžeme pomocou vektora pohybu odpovedajúcim spôsobom modifikovať. Súčasťou vektora bude aj rýchlosť pohybu objektu, ktorá bude dopredu definovaná a potrebná pre ďalšie výpočty. Všetky body v objekte sa teda budú zdánlivo pohybovať ako jeden celok, znázornené na obrázku 2.

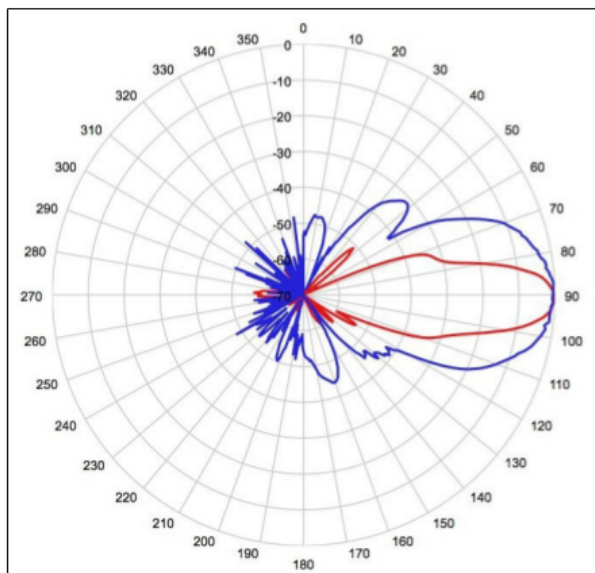
Podstatnou charakteristikou bodu bude jeho RCS (Radar Cross-section), ktorý reprezentuje ako intenzívne bude daný bod reagovať na prijatý signál, teda akou silou a smerom odrazi signál späť. To všetko závisí na simulovanom tvare a materiálu objektu, rovnako ako aj uhlom pod akým je voči paprsku. Táto konštanta nám simuláciu zjednodušuje od jeho fyzikálnej verzie. RCS sa bude dať jednoducho nastaviť ako vstupná hodnota programu. Rovnako ako súradnice umiestnenia bodov, rýchlosť objektu.

Radar KMC-4 of spoločnosti RFbeam, ktorý sme sa rozhodli pre túto simuláciu používať ako referenčný má svoje vlastnosti, ktoré musíme implementovať aj do nášho simulačného radaru. Všetky tieto údaje boli predom získane výrobcom tohto radaru, firmou RFbeam a sú umiestnené v jeho datasheete [5], preto ich nemusíme nadobudnúť experimentálne.

- Vysielať frekvencia radaru KMC-4 je 24.150GHz
- Zisk antény je 18dB
- Zisk vysielača je 13dB
- Zisk prijímača je 16dB

4. Charakteristika antény

Hardwarový modul samotného radaru mieri na určitý bod. Nemôže vysielať a prijímať všetky svoje paprsky do všetkých bodov a smerov rovnomerne. Charakteristika antény, resp. anténový diagram reprezentuje aké je potlačenie vysielačného signálu v decibelloch, jednotlivo v horizontálnom a vertikálnom smere vzhľadom na vysielať signálu od vektora radaru v



Obrázok 3. Diagram graficky zobrazujúci charakteristiku antény. Ktorý sme použili ako zdroj pre našu textovú verziu charakteristiky antény[5].

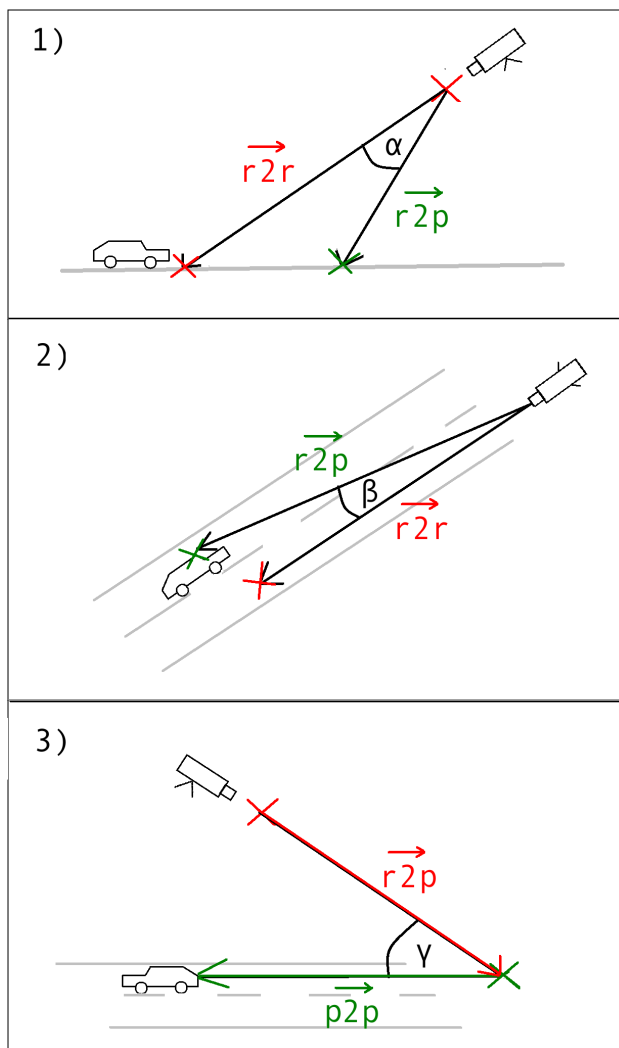
uhlových stupňoch. Tento údaj je obsiahnutý v data-sheete a je len graficky znázornený na obrázku 3.

Preto je potrebné extrahovať tento útlm antény pre každý stupeň jednotlivo. Pre tento prípad sme použili jednoduchú metódu za pomoci programu Gimp a jeho nástroja pre zmeranie uhlu a to nasledovne. Umiestnili sme jeden koniec pravítka do stredu obrázku a druhý koniec po čiare doprava vedúcej k uhlu 90 stupňov. Tento nástroj ďalej fungoval ako uhlomer a s uhlom v strede obrázku sme pohodlne vyčítali pre každý červený (horizontálny) a modrý (vertikálny) bod jeho útlm v určitom uhle.

Celý tento proces sa zapisoval do súboru vo formáte .csv. Jeden súbor obsahuje informácie v rozsahu $0^\circ - 180^\circ$, delených po jednom stupni. Pre vertikálny smer a druhý súbor v rovnakom rozsahu pre horizontálny smer.

Nami získaný (ručne nameraný) počet hodnôt (180) avšak nebude dostatočný. Nato aby sme signál rekonštruovali musíme dodržať Nyquistov vzorkovací teorém a predpokladaná frekvencia simulácie bude 10 kHz. To nám spôsobí, že nami získané hodnoty su vo veľmi malom rozsahu a výsledný graf by bol zrkockovateľý. Preto musíme tieto hodnoty interpolovať.

Nami získaný a spracovaný útlm potrebuje pre využitie správny uhol, pre ktorý sa bude určovať. Ten musíme získať v našom trojrozmernom priestore jednotlivo pre horizontálnu a vertikálnu zložku dvojrozmerného priestoru.



Obrázok 4. Grafické znázornenie nami riešených a reprezenrtovaných uhlov. 1) Vertikálny 2) Horizontálny 3) Priestorový.

4.1 Vertikálny uhol

Pomocou obrázku 4 časť 1) vidíme myšlienku pri získavaní hodnoty vertikálneho uhlu. Trojrozmerný priestor si premietneme do dvojrozmerného, teda vynecháme jeho x-ovú zložku. Poznáme vektor radaru, teda bod v ktorom sa radar nachádza a bod na ktorý mieri, označme si ho ako $\vec{r2r}$ (radar to radar). Rovnako poznáme aj aktuálnu pozíciu objektu. Teda vieme určiť vektor od umiestnenia radaru k aktuálnej pozícii objektu v priestore, označme si ho ako $\vec{r2p}$ (radar to point). Získaný uhol medzi vektormi $\vec{r2r}$ a $\vec{r2p}$, je náš žiaduci vertikálny uhol.

4.2 Horizontálny uhol

Obdobne ako sme získali uhol vertikálny vieme získať aj uhol horizontálny, obrázok 4 časť 2). V tomto prípade pri premietnutí do dvojrozmerného priestoru vynecháme osu z, z trojrozmerného priestoru. Rovnako využijeme vektory $\vec{r2r}$, $\vec{r2p}$ a získame požadovaný

horizontálny uhol.

Pre uhol vertikálny a horizontálny teraz vieme v každom okamžiku simulácie získať uhol radaru voči objektu. Tento uhol použijeme v nami predom pripravených .csv dátach a tým získame stratu signálu v dB, osobitne pre horizontálny a vertikálny smer v danom časovom okamžiku a usporiadaní objektov priestore. Následne tieto 2 hodnoty vertikálneho a horizontálneho smeru medzi sebou vynásobíme a dostaneme aktuálnu stratu signálu v dB, pre náš bod v priestore voči radaru v danom časovom okamžiku.

5. Simulácia útlmu signálu

Ďalej pracujeme s predstavou nášho priestoru, našej kocky, v ktorej je umiestnený náš radar so svojimi súradnicami rovnako ako aj jeho bod, ktorého pohyb pozoruje. Tieto dva bodi nám tvoria vektor, teda to ako radar mieri na fiktívnu cestu pod ním.

Z jednej strany kocky na druhú stranu sa nám pohybuje náš objekt, v tomto prípade osobné vozidlo, ktoré je reprezentované zhukom svojich bodov. Každý bod má rovnakú rýchlosť a smer pohybu, ktorý určuje jeho vektor pohybu.

Náš radar virtuálne vysiela nepretržite v každom okamihu pohybu objektu paprsok, čo v našej simulácii znamená veľa výpočtov pre charakteristika tohto imaginárneho paprsku.

5.1 Vzdialenosť

Vzdialenosť objektu od radaru je potrebné pre výpočet vracajúcej sa energie do radaru, ktorú získame z radarovej rovnice. V našom simulačnom prostredí pre získanie hodnoty vzdialenosti využijeme Euklidovu vzdialenosť, čo je metrika daná dvoma vektormi umiestnenými v priestore. V našom prípade vektora od bodu radaru k bodu objektu a vektora od bodu objektu k jeho smeru pohybu.

5.2 Priestorový uhol

Pre výpočet frekvencie signálu vracajúceho sa späť do radaru budeme potrebovať priestorový uhol, ktorý zviaza vektor radaru s vektorom pohybu objektu. Obrázok 4 časť 3). Vektor radaru je nám už dobre známy a máme ho označený ako $\vec{r_2r}$. Vektor pohybu objektu nie je nič iné ako jeho aktuálna pozícia v priestore vo vzťahu s jeho pozíciou v priestore v ďalšom časovom okamžiku, označme si ho $\vec{p_2p}$ (point to point). Uhol, ktorý tieto 2 vektory zvierajú, je náš požadovaný priestorový uhol.

5.3 Prijatý signál

Po správnom získaní priestorového uhlu, ktorý zviaza vektor radaru s vektorom pohybu objektu, sme schopný v každom okamžiku pohybu objektu získať veľkosť signálu vracajúceho sa od objektu späť do radaru a to pomocou vzťahu:

$$F_r = 2 * v * \frac{F_t}{c} * \cos(\gamma) \quad (2)$$

Kde rýchlosť objektu v je nami dopredu určená, rovnako ako aj vysielať frekvencie antény F_t s podielom rýchlosťou svetla c . To všetko je v súčine s kosínusom nášho priestorového uhlu γ . Celý tento vzťah nie je nič iné ako aplikácia dopplerovho javu.

5.4 Radarová rovnica

Pre náš finálny výpočet a to kalkuláciu energie, ktorá sa po odraze od objektu do radaru vráti musíme aplikovať nami upravenú radarovú rovnicu 3.

$$P_r = \frac{\lambda * RCS * \sqrt[10]{10^{loss}}}{(4\pi)^2 * d^4} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{c}{F_t} \quad (4)$$

Hodnota P_r predstavuje výkon prijatého signálu, ktorý touto rovnicou získame. Vlnová dĺžka (λ) je podiel rýchlosti svetla c s hodnotou frekvencie akú mal vyslaný signál F_t z radaru, rovnica 4. Veličina RCS nám je dobre známa ako Radar cross-section. Hodnota $loss$ predstavuje stratu signálu získanú výpočtami uhlov z charakteristiky antény, na ktorú sme aplikovali logaritmus. Hodnota d je vzdialenosť radaru od objektu. Keďže je vysielač aj prijímač umiestnený na spoločnej anténe, umocníme to na štvrtú.

6. Simulácia modelovanej scény

Samotná simulácia je tvorená spojeným všetkých menších celkov, ktoré boli doposiaľ vysvetlené.

Celá simulácia sa odvíja od počtu simulačných krokov, ktoré učujú ako podrobne bude každý pohyb objektu spracovaný. Čím viac simulačných krokov, tým podrobnejšie dáta získame, teda tým podrobnejší výsledok zobrazíme. Optimálny počet simulačných krokov našej simulácie bude 10000. Čo bude vo vzťahu s 10 kHz, ktorá je odporúčaná frekvencia simulácie pre splnenie Nyquistovho teorému. V prípade menšieho počtu krokov by mohlo dôjsť k antialiasingu. Optimálny počet krokov simulácie je určený ako podiel počtu simulačných krokov s dráhou akú objekt v simulácii urazí.

V programe Matlab sa simulácia bodov v našom navrhnutom prostredí vytvára, rovnako ako aj riadi

pomocou nástroja HGtransform, ktorý je implicitne obsiahnutý v prostredí Matlab. Tento nástroj spravuje všetky body priestoru, ktoré sme mu vytvorili.

S bodmi, ktoré sú na to vopred určené pohybuje v smere v aký sme mu predom definovali. Predpokladáme a určujeme pohyb bodov ako homogenný jav, teda náš pohybujúci objekt nebude zrýchľovať ani spomaľovať.

V našom trojrozmernom prostredí nimi môže pohybovať až vo všetkých troch osiach. Nám pre simuláciu vozidla na vozovke bude stačiť práve jedna, ktorá bude charakterizovať jeho pohyb vpred. V budúcnosti pri simulácii objektov pohybujúcich sa vzduchom by sa mohli zísť aj druhá a tretia osa.

Jadro simulácie tvorí cyklus, ktorý vykonáva presný počet iterácií, ktorý sa rovná počtu simulačných krokov. V každej jednej iterácii sa pre každý pohybujúci bod jednotlivo určí jeho nová aktuálna pozícia, pričom poznáme aj jeho pozíciu v ďalšej iterácii. Tu získame jednoducho tým, že k aktuálnej pozícii pripočítame posun v priestore aký mu určí funkcia HGtransform pre nasledujúci stav. Každému stavu priradzuje stále rovnaký prírastok čo sa javí ako rovnomerný pohyb objektu v priestore.

Pre statické body, ako pozíciu radaru v priestore, či bod na ktorý v priestore mieri nám stačí získať práve raz.

Po získaní potrebných pozícií bodov v priestore pre daný okamžik, prebiehajú všetky potrebné výpočty a to:

- získavanie vzdialenosti
- výpočet horizontálneho a vertikálneho uhlov
- čo vyústi k výpočtu strát signálu

Po získaní týchto potrebných medzivýpočtov ich následne použijeme v rovniciach pre:

- výpočet rozdielu signálu odpovedajúceho Dopplerovej frekvencii F_r v Hz
- výpočet výkonu prijatého signálu P_r pomocou radarovej rovnice vo W

Výsledkom tohto celého procesu iterácií bude dvojrozmerné pole, ktoré bude obsahovať hodnotu výkonu prijatého signálu. Pre každý jeden bod v jeho každom časovom okamžiku.

6.1 Generovanie signálu

Po skončení tohto sledu iterácií a získaní všetkých potrebných dát a ich naplnení do finálneho poľa výsledkov sa spustí ešte jeden identický cyklus s rovnakým počtom iterácií, ktorý generuje počiatočný signál v ktorom sa zakompunuje naša prijatá frekvencia F_r

spolu s výkonom prijatého signálu P_r .

$$\varphi_{d_t} = 2\pi * F_r * d_t \quad (5)$$

$$result(n) = sqrt(P_r) * e^{j(\varphi_1 + \varphi_{d_t})} \quad (6)$$

$$\varphi_1 = \varphi_1 + \varphi_{d_t} \quad (7)$$

6.2 Zpracovanie signálu

V poslednej fáze spracovania signálu nám ostáva už len tento signál segmentovať pomocou Hammingoveho okna cez ktoré tento signal rozdelí na menšie, lepšie spracovateľné časti - rámce. Dĺžka rámcu je vypočítaná pomocou primernej hodnoty signálu v danom intervale, cez funkciu *mean*.

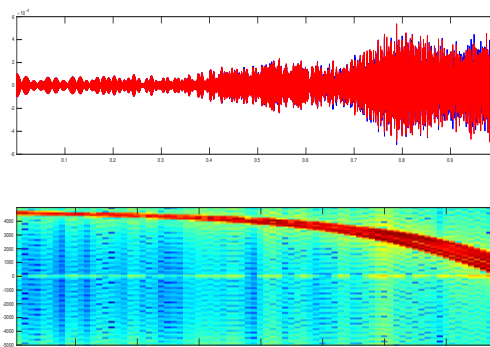
Tieto rámce ďalej spracuje Rýchla Fourierova transformácia o čo sa postará funkcia matlabu *fftshift*.

$$ramec = ramec - mean(ramec)$$

Tieto rámce ďalej spracuje Rýchla Fourierova transformácia o čo sa postará funkcia matlabu *fftshift*. Symbolický zapísané ako:

FazovyPosunFFT (FFT (hammingovoOknoPreDanyRamec))

Vo výsledku a to na obrázku 5 vidíme výsledok celého procesu spracovania najprv v grafe (horná časť) a následne v spektrograme (spodná časť). Vo výslednom grafe je znázornené ako amplitúdy signálu s približujúcim sa objektom pomaly stúpajú. Rovnako v spektrograme vidíme ako sa znižuje prijímaná frekvencia a názorne aj ako sa delí na viac bodov, ktoré reprezentujú náš objekt.



Obrázok 5. Výsledný graf a spektrogram.

7. Záver

V tejto práci sme sa venovali prezentácií projektu Simulátor šírenia radarového signálu. Kde sme si ukázali ako jednoducho a funkčne môžeme navrhnúť prostredie spolu s jeho funkčnými časťami pre úspešné simulovanie reálného radaru.

Výstupom simulátoru je surový signál odpovedajúci Dopplerovským posunom vznikajúcim v namodelovanom prostredí.

V budúcnosti plánujeme získané dáta z meraní v reálnom prostredí cestnej premávky porovnať s našimi dátami, ktoré budú výsledkom programu po nasimulované približne rovnakého prostredia. Veríme, že výsledky budú podobné až identické.

PodĎakovanie

Veľmi rád by som poďakoval Ing. Lukášovi Maršíkovi, ako vedúcemu mojej práce za jeho podporu a cenné rady.

Literatúra

- [1] Christian Wolff. Radar tutorial. blogpost (czech), April 2017. <http://www.radartutorial.eu/index.en.html/>.
- [2] Merrill I. (Merrill Ivan) SKOLNIK. *Radar handbook*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2008. ISBN: 978-0071485470.
- [3] Wolfgang Weidmann. Radar sensing and detection of moving and stationary objects. blogpost (czech), April 2017. http://www.innosent.de/fileadmin/media/dokumente/Downloads/Application_Note_I_-_web.pdf/.
- [4] Merrill I. (Merrill Ivan) SKOLNIK. *Introduction to radar systems*. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 2001. ISBN 978-0-07-288138-7.
- [5] RFbeam. K-mc4 monopulse radar transceiver datasheet. blogpost (czech), April 2017. https://www.rfbeam.ch/files/products/18/downloads/Datasheet_K-MC4.pdf/.