



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

SIMULÁTOR ŠÍŘENIA RADAROVÉHO SIGNÁLU

RADAR SIGNAL DIFFUSION SIMULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL ORMOŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ MARŠÍK

BRNO 2017

Abstrakt

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v českém (slovenském) jazyce.

Abstract

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v anglickém jazyce.

Klíčové slová

Sem budou zapsána jednotlivá klíčová slova v českém (slovenském) jazyce, oddělená čárkami.

Keywords

Sem budou zapsána jednotlivá klíčová slova v anglickém jazyce, oddělená čárkami.

Citácia

ORMOŠ, Michal. *Simulátor šírenia radarového signálu*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Maršík Lukáš.

Simulátor šírenia radarového signálu

Prehlásenie

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Lukáše Maršíka. Další informace mi poskytli... Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Michal Ormoš

25. apríla 2017

Podakovanie

V této sekci je možno uvést poděkování vedoucímu práce a těm, kteří poskytli odbornou pomoc (externí zadavatel, konzultant, apod.).

Obsah

1	Úvod	3
2	Teoretická časť	4
2.1	Radar	4
2.1.1	Delenie radarov	5
2.1.2	Základne časti radaru	5
2.2	Charakteristika modulu K-MC4	7
2.2.1	Základné vlastnosti radarového modulu[9]:	7
2.3	Doplerov jav	8
2.4	Radarová rovnica	9
2.5	Spracovanie signálu	10
2.5.1	Vzorkovanie a Kvantovanie	10
2.5.2	Odstránenie jednonosmernej zložky	11
2.5.3	Segmentácia	11
2.5.4	Zero-padding	12
2.5.5	Frekvenčná analýza	12
2.5.6	Interpolácia	13
2.6	Modelovanie a simulácia	14
2.6.1	Princípy	14
2.6.2	Diskrétny systém a simulácia	15
2.6.3	Simulovanie činnosti radaru	15
3	Návrh	16
3.1	Radar v priestore	16
3.2	Objekt v priestore	17
3.2.1	Vertikálny uhol	18
3.2.2	Horizontálny uhol	18
3.2.3	Simulácia útlmu signálu	19
3.2.4	Priestorový uhol	19
3.2.5	Vzdialenosť	19
3.2.6	Prijatý signál	20
3.2.7	Radarová rovnica	20
4	Implementácia	21
4.1	Charakteristika antény	21
4.2	Simulácia modelovanej scény	23
4.3	Reprezentácia dát	25

5	Testovanie a výsledky	26
6	Záver	27
6.1	Zhodnotenie výsledkov	27
6.2	Dalšie pokračovanie práce	27
	Literatúra	28

Kapitola 1

Úvod

Táto bakalárska správa predstavuje bakalársku prácu **Simulátor šírenia radarového signálu**. Vznikla za účelom vytvorenia systému pre simulovanie pohybu objektu pred radarom, ktorý predstavuje bežne používaný typ radaru výzkumnou skupinou Fakulty Informačných Technológií v Brne. S pomocou tohto systému by si mali pracovníci výzkumnej skupiny uľahčiť prácu pri testovaní rôznych setup-ov. Pre simulovanie rôznych pohybov, resp. rôznych orientácií voči smeru pohybu. Malo by im to zrýchliť prototypovanie a odhad parametrov aplikácií. Všetky tieto spomenuté úkony sú fyzicky a časovo náročné, preto je simulačné riešenie vhodné.

Odvetvie radarov je vo svete veľmi rozsiahlo preskumaný a dôkladne popísaný problém, pričom jeho počiatky siahajú do začiatkov 20. storočia a ich najväčší rozvoj nastal v medzivojnovom období hlavne v spojení s leteckým a námorným priemyslom. Ich využitie môžeme v dnešnej dobe vidieť vo viacerých civilných odvetviach vďaka ich priateľným cenovým riešeniam.

Začiatok tejto práce objasňuje princípy fungovania radaru ako celku, pričom je jeho činnosť rozčlenená a vysvetlená do detailov, na úrovni jeho jednotlivých častí. Ďalej je vysvetlené delenie radarov podľa rôznych kritérií a predstavený referenčný radar K-MC4. Neoddeliteľnou časťou radaru je pochopenie Dopplerovho javu a Radarovej rovnice. Téma rozoberá šírenie radarového signálu pre ktoré budeme potrebovať pochopiť ako sa paprsky, elektromagnetické vlny radaru šíria priestorom.

Nasledujúca kapitola predstavuje spôsob spracovania signálu, ktorý sme z radaru získali. Pre získanie požadovaných výsledkov musíme najprv z analogového signálu vytvoriť digitálny pomocou A/D prevodníku spolu so vzorkovaním a kvantovaním. Zo signálu potrebujeme ďalej odstrániť jednosmernú zložku pre lepšie výsledky a signál nasegmentovať. Okenná funkcia nám signál rozdelí na lepšie spracovateľné časti a po zväčšení frekvenčného rozlíšenia sa môžeme pustiť do frekvenčnej analýzy pomocou fourierovej transformácie.

Názov tejto práce napovedá, že sa jedná o simulátor, k čomu budeme potrebovať základné znalosti o vytváraní modelu a jeho následnej simulácii v porovnaní s referenčným modelom(reálnym radarom)

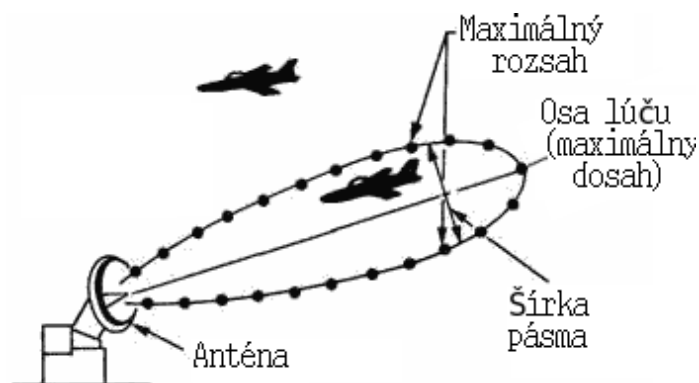
Kapitola 2

Teoretická časť

2.1 Radar

Radar (skratka anglického slova **R**Adio **D**irection **A**nd **R**anging) je elektromagnetický senzor pre detekciu a lokáciu objektov. Jeho všeobecný princíp fungovania môže byť zhrnutý v nasledujúcich bodoch[15][12]:

- Radar vysiela zo svojej antény pomocou vysielača elektromagnetické vlny, ktoré sa šíria priestorom v určitom smere.
- Niektoré z vysielaných vln sú zachytené objektmi, ktoré tento signál z jednej časti pohlcujú a súčasne aj odrážajú. Nazývame ich ciele radaru a väčšinou sú v určitej vzdialenosti od radaru, do ktorej má dosah.
- Časť tejto energie, ktorá nie je pohltená cieľovým objektom je odrazená naspäť mnohými smermi.
- Niektoré vlny z tejto odrazenej, vysielanej energie sa vrátia naspäť k radaru a sú zachytené radarovým prijímačom umiestneným 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, ktoré sme chceli vidieť. Alebo len rôzne interferencie prostredia.



Obr. 2.1: Ukážka funkčnosti radaru [4].

2.1.1 Delenie radarov

Radary sa delia podľa rôznych kritérií, ako spôsobu tvorby vysielanej energie, typu vysielача a príjmača, či vlnovej dĺžky, atď.

Základné delenie radarov na **monostatické** a **bistatické** určuje či je príjmač a vysielач umiestnený na spoločnej anténe (monostatické), alebo na odelených anténach (bistatické). Bistatickým radarom to umožňuje mať príjmač a vysielач umiestnený na rôznych miestach v priestore, ľubovoľne od seba vzdialených[13][10].

Dalšie možné delenie radarov je na **pasívne** a **aktívne**. Pasívne radary sú tie, ktoré nevysiela žiadny signál, ale len ho prijímajú. Na jeho základe si utvárajú informácie o okolí. Naproti tomu radary aktívne sa plne podieľajú na vysielaní aj prijímaní signálu.

Delenie radarov podľa režimu vysielania elektromagnetických vln, je to, ktoré bude kľúčové pre pochopenie významu tejto práce[12]:

1. **Pulzný radar:** Pracuje len s jednou anténou, ktorá sa nepretržite prepína medzi príjmacím a vysielacím režimom. Vysiela série elektromagnetických signálov s veľkým výkonom v opakovaných intervaloch. Anténa na krátku dobu vysiela rádio-frekvenčnú energiu rýchlosťou svetla, po prepnutí do príjmacieho režimu čaká na prijatie odrazeného signálu a časový interval medzi vyslaním a prijatím signálu je následne spracovaný. Hlavné využitie pulzného radaru je na veľké vzdialenosti. Jeho najväčší užitočnosť je v oblasti armády. Ostatne je vhodný aj pre aplikácie v riadení leteckej dopravy, predpovedi počasia (obzvlášť pre predpovede zrážok) a v neposlednom rade aj ako radar umiestnený na vesmírnom satelite pre vzdialené snímanie povrchu zeme.
2. **Radary s kontinuálnou vlnou:** Označované ako CW Radar (Continuous Wave Radar) využívajú princíp vysielania kontinuálnej vlny, ktorá je nepretržite vysielaná a prijímaná. Preto CW radar musí obsahovať na svojej anténe dve odelené časti, jednu vysielaciu a druhú príjmaciu. Prenáša signál s konštantnou frekvenciou a amplitúdou. Z dôvodu nemožnosti zmerať čas medzi vyslaním signálu a jeho prijatím nie sme schopní určiť vzdialenosť k objektu. Čo pri pulznom radare nie je problém keďže vieme dobu medzi vyslaním a prijatím signálu, zatiaľ čo u CW radaru nám to nie je známe. Avšak môžeme určiť rýchlosť pohybujúceho sa objektu s použitím Dopplerova javu.

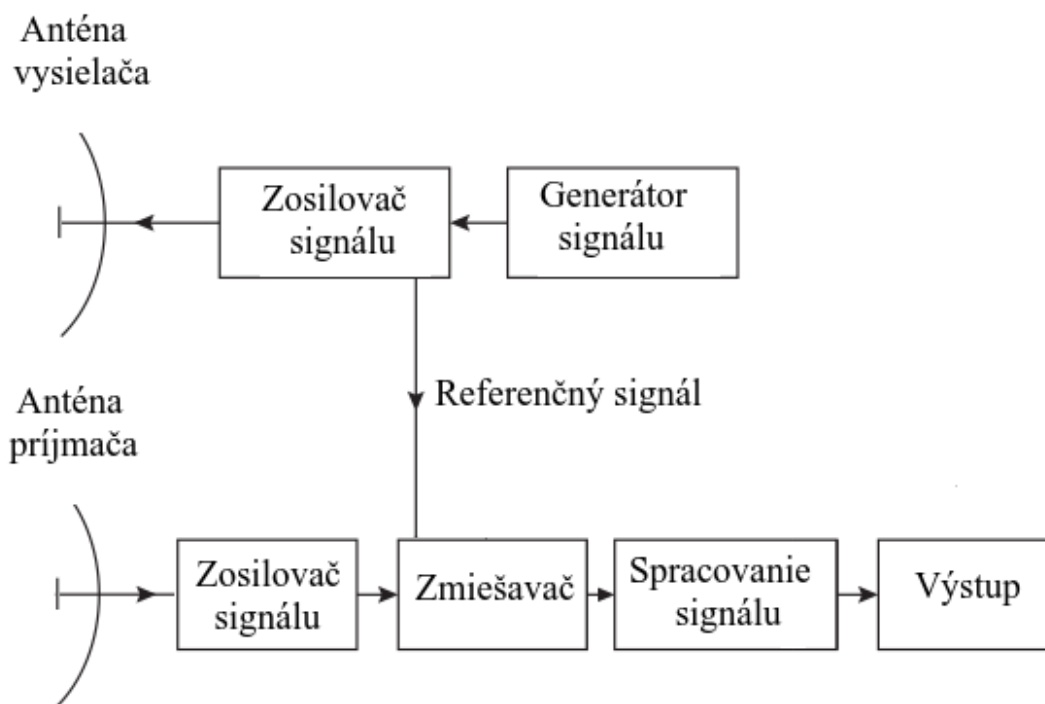
Rovnako na rozdiel od pulzného radar, CW radar predstavuje v súčasnosti veľmi kompaktné a lacné riešenie pre detekciu objektov. Ktoré sa aplikuje pomocou vstavaných zariadení. Preto v dnešnej dobe zažívajú veľký úspech a nachádzajú využitie v mnohých odvetviach ako napríklad riešeniach v doprave.

Radary s kontinuálnou vlnou si v tejto práci určíme ako referenčný. Radar K-MC4 od Švajčiarskej spoločnosti RFBeam Microwave GmbH je pre nás implicitný radar a budeme to v tejto práci simulovať. Je to aktívny bistatický radar. Označovaný ako FM-CW radar. Frequency-Modulated Continuous-Wave. Frekvenčne modulovaný radar s kontinuálnou vlnou.

2.1.2 Základne časti radaru

Popísané na obrázku 2.2.

1. **Anténa (anglicky Antenna):** Je to čo spája radar s vonkajším svetom. Vykonáva viac funkcií:



Obr. 2.2: Blokové schéme FM radaru.

- Dovoľuje šíriť vysielanú energiu z vysielača.
- Zhromažďuje zachytenú energiu odrazenú z cieľa pre príjmač.
- Poskytuje informáciu o azimute a elevácii radaru k cieľu.
- Jej tvar a veľkosť určujú objem priestoru aký môže radar pokryť

2. **Vysielač (anglicky Transmitter):** Dôležitá časť radaru, ktorá generuje a vysiela signál v požadovanej vlnovej dĺžke, Signál je generovaný zo zdroja (**Generátor signálu**), potrebný výkon sa získava použitím výkonného oscilátora alebo zosilňovača (**Zosilovač signálu** (anglicky Amplifier)) spolu s nízkonapätovým zdrojom.

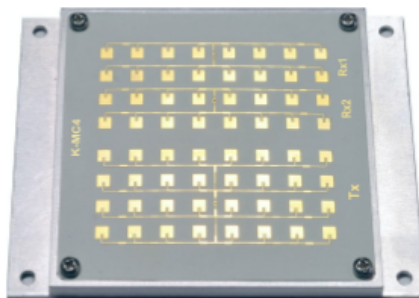
3. **Príjmač (anglicky Receiver):** Zachytáva a prijíma odrazenú energiu z cieľa. Vzhľadom na vzdialenosť a materiál objektu, z akého je zhotovený, sa bude odvíjať jeho intenzita, ktorá dosahuje veľmi malé hodnoty (väčšinou až 10^{-9} W). Preto sa signál musí zosíliť pomocou **Zosilovača**. Pre ďalšie spracovanie a je dôležité aby anténa neobsahovala žiaden šum, ktorý by mohol skresliť výsledok.

Nasleduje porovnanie prijatého signálu s referenčným signálom, ktorý bol vysielač. Potom sa môže začať časť spracovania a extrakcie informácií zo signálu. Pomocou rôznych filtrov pre spracovanie signálov.

4. **Zosilňovač (anglicky Duplexer)** V prípade vysielač signálu je jeho úlohou zosíliť 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 je veľmi malý.

2.2 Charakteristika modulu K-MC4

V dnešnej dobe existuje veľké množstvo výrobcov radarov, ktoré ich produkujú v rôznych tvaroch a typoch. S rôznymi charakteristikami a možnosťami. Pre túto prácu si zvolíme modul K-MC4 predstavujúci radar, ktorého činnosť budeme v simulovať. Zvolili sme ho hlavne z dôvodu jeho častého využitia vedeckou skupinou zaoberajúcou sa radarom na Fakulte Informačných Technológií, Vysokého Učení Technického v Brne.



Obr. 2.3: Radar K-MC4 od Švajčiarskej spoločnosti RFBeam Microwave GmbH [9]

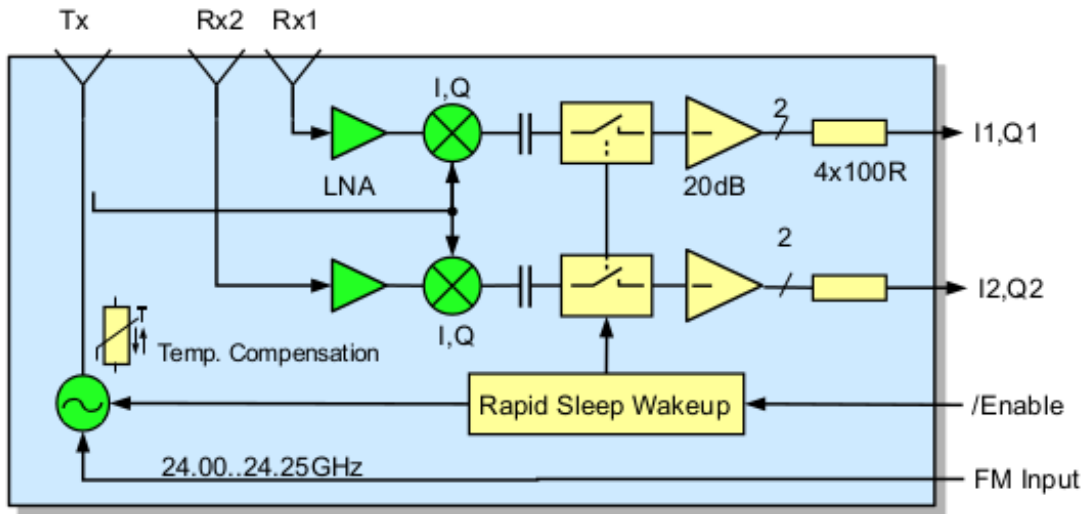
2.2.1 Základné vlastnosti radarového modulu[9]:

- 24 GHz vysielať frekvencia, pomocou nízko-dosahového monopulzného vysieláča
- Dvojité prijímač s $\pm 15^\circ$ pokrytím
- Rozptyl vysielať lúču $30^\circ / 12^\circ @ -3\text{dB}$
- 180MHz FM(Frekvenčná modulácia) - vstup
- Integrovaný vysoko citlivý RF/IF(intermediate frequency) zosilovač
- I/Q IF výstup z oboch kanálov
- Technika rýchleho prebudenia šetriaca energiu RSW (Rapid Sleep Wakeup).
- Extrémna kompaktnosť 78x98x7mm

K-MC4 je Dopplerov radar s asymetrickým vysielateľom a dvoma prijímacími antenami. Ktoré lepšie napomáhajú k vyhodnoteniu rýchlosti meraného objektu. Ten svojím pohybom k radaru mení uhol snímania a signál postupne zaostáva. Táto technika je často nazývaná **monopulzný radar**, čo je vlastne **fázové porovnávanie signálu**. Vysielať odchýlka $\pm 15^\circ$ od hlavnej osi spôsobuje odchýlku $\pm 100^\circ$ v cieľi. So zvyšujúcim sa uhlom sa znižuje prenosť nameraných hodnôt.

Funkciu týchto dvoch prijímacích a jednej vysielať antény v našej simulácii zahrnieme, pretože nám to pomôže určiť orientáciu objektu voči radaru(znázornené na obrázku 2.5). To znamená v akom smere sa objekt pohybuje. Od resp. k radaru alebo či prechádza pred radarom z ľavej strany smerom do pravej alebo z pravej strany smerom do ľavej.

Pohybujúci sa objekt generuje Dopplerov signál na oboch kanáloch I a Q (znázornené na schéme obrázku 2.10). Fázový posun medzi I_x a Q_x indikuje smer pohybu objektu.



Obr. 2.4: Blokové schéma radaru K-MC4 [9]

Približujúci sa objekt generuje 90° medzi výstupmi I a Q, vzdialujúci sa objekt generuje naopak -90° .

Funkcia RSW, technika rýchleho prebudenia je ideálna pre používanie s batériou[9]. To avšak v tejto práci, ktorá je simulačná nepovažujeme za potrebné a túto funkciu zanedbáme.

Využitie modulu K-MC4:

- Určovanie vzdialenosti, smeru a rozmerov objektov.
- Zisťovanie rýchlosti objektov.
- Industriálne senzory.

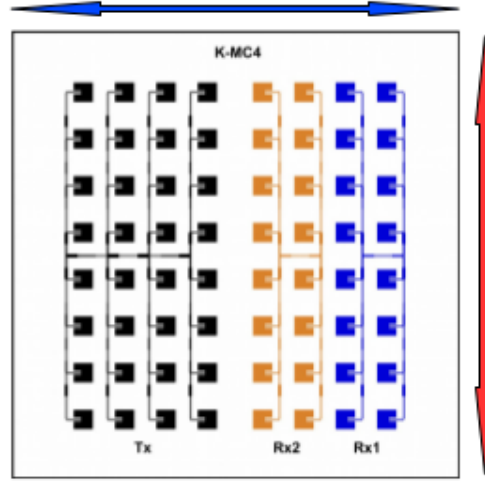
2.3 Doplerov jav

Doplerov efekt popisuje zmenu vlnovej dĺžky prijímaného signálu voči signálu vysielanému. Čo je spôsobené nenulovou vzájomnou rýchlosťou prímača a vysieláča. Tento jav nenastáva len pri zvuku, no obecné 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 "roztiahnu", čo vo výsledku vedie k zmene frekvencie. Odrazený signál so zmenenou frekvenciou sa napríklad pri zvuku prejaví 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[14][13].

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 2.1.

$$f_{Dopp} = 2f_0 \frac{v}{c_0} \cos \alpha \quad (2.1)$$

Azimuth 30° , Elevation 12°
At IF output voltage -6dB
(corresponds to -3dB Tx power)



Obr. 2.5: Obrázok ilustrujúci anténu radaru KMC-4. Štvorčeky označené čiernou farbou reprezentujú vysielateľ (Tx) radaru. Žltou ($Rx2$) a modrou ($Rx1$) farbou sú znázornené obe prijímače. Povrch jedného prijímača je polovica z povrchu vysielateľa. Červená šípka reprezentuje horizontálnu a modrá vertikálnu osu radaru, ktorá je potrebná pre výpočet straty signálu.[9].

2.4 Radarová rovnica

Jedna zo základných rovníc radarovej teórie je radarová rovnica. Ktorá nám z pomedzi iného slúži nielen na zistenie dosahu radaru, ale rovnako ako aj ako charakteristika radarového systému. Radarová rovnica pre vojenské radary je jemne rozdielna od tej pre konvenčné radary, alebo iné typy radarov. Každá jedinečná aplikácia radaru vo všeobecnosti potrebuje využiť radarovú rovnicu upravenú k daným špecifikáciám, požiadavkám a aplikáciám. Napríklad podľa použitia radaru v rôznom prostredí a to na zemi, vo vzduchu alebo vo vode.

Anténa slúži na usmernenie vyžarovaného energie v správnom smere. Rovnica energie prijatého signálu je definovaná ako súčin vysielanej energie $[W]$, a zisku antény (G):

$$P_d = \frac{P_t * G}{4\pi * R^2} \quad (2.2)$$

Zisk antény G je definovaný ako súčin zisku vysielateľa (F_t) a prijímača (F_r):

$$P_d = \frac{P_t * F_r * F_t}{4\pi * R^2} \quad (2.3)$$

Vyslaná energia ktorá dopadá na objekt je pohltená alebo rozptýlená do prostredia, avšak malá časť sa odrazí a vracia k radaru. Jedná sa o veľmi malú časť oproti veľkosti vyslaného signálu. Objekty podľa svojho tvaru, materiálu a povrchu odrážajú naspäť rôzne množstvo energie. Táto hodnota je vyjadrená ako RCS (**R**adar **C**ross-**S**ection), odrazivej plochy radaru. Hodnota RCS sa vyjadruje v m^2 .

Vzdialenosť objektu sa počíta ako súčin vzdialenosti prijímača radaru od objektu a vysielajú radaru od objektu. V našom prípade je vysielateľ aj prijímač umiestnený na jednej anténe a budeme ho označovať ako d^2 .

Hodnota *loss*, reprezentuje stratu signálu vzhľadom na uhol, pre ktorý je pravý uhol bod, na ktorý radar priamo miery.

Výsledná radarová rovnica, ktorá obsahuje všetky potrebné hodnoty pre náš projekt a má tvar:

$$P_r = \frac{P_t * F_r * F_t * RCS}{(4\pi)^2 * d^4 * loss} \quad (2.4)$$

Dosah radarového paprsku je daný radarovou rovnicou, ktorá pojednáva o maximálnom dosahu vysielaného paprsku tak aby bol znova úspešne prijatý prijímačom. Táto vzdialenosť závisí od výkonu vysielajú radaru a úspešnosti šírenia sa vlnenia priestorom.

Index lomu popisuje ako sa elektromagnetické žiarenie z radaru šíri a láme v rôznom prostredí[16].

2.5 Spracovanie signálu

Výstup radaru je reprezentovaný analógovým signálom, ktorý odpovedá frekvencii generovanej pohybujúcim sa objektom pred radarom. Cieľom spracovania signálu je prevedenie frekvenčnej analýzy, ktorej výstupom sú užitočné informácie o objekte ako napríklad jeho rýchlosť a vzdialenosť.

Pred samotnou frekvenčnou analýzou a úpravou signálu je potreba ho zdigitalizovať pomocou A/D prevodníku. Proces prevodu signálu z analógovej podoby do digitálnej pozostáva z dvoch procesov a to Vzorkovania a Kvantovania[11].

2.5.1 Vzorkovanie a Kvantovanie

Vzorkovaním rozumieme násobenie pôvodného signálu sledom periodických obdĺžnikových signálov nenulovej šírky (tzv. Dirakových impulzov). Je potrebné tieto impulzy navrhnuť tak, aby nevzniklo skreslenie spôsobené nami volenou šírkou obdĺžníka. Násobenie signálu v čase odpovedá konvolúcii ich spektier, čo je postupnosť kópií spektra pôvodného signálu s periodou vzorkovacej frekvencie, rovnica 2.5[18].

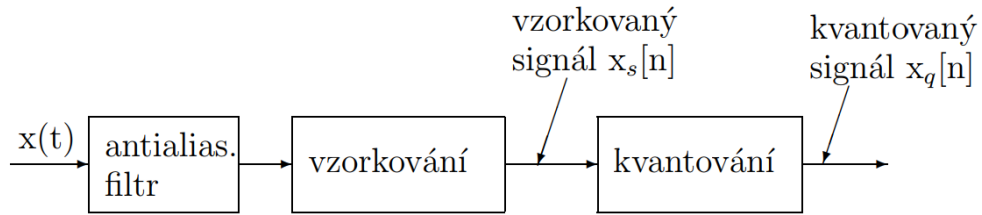
$$F_S = \frac{1}{T} \quad (2.5)$$

Ak bude vzorkovacia frekvencia príliš nízka, budú sa jednotlivé kópie pôvodného spektra prekrývať. V takom prípade nebudeme môcť navzorkovaný signál rekonštruovať späť do pôvodnej podoby. To sa označuje ako antialiasing. Aby sme tomu zabránili musíme dodržať Nyquistov-Shannonov vzorkovací teorém, znázornený vo vzťahu 2.6. Maximálna frekvencia signálu musí byť nižšia než polovica vzorkovacej frekvencie.

$$F_S > 2f_{max} \quad (2.6)$$

Kvantovanie prevedie rozsah signálu na diskretný signál. Kvantizovaný signál vezme len diskretné, zvyčajne konečné súbory hodnôt. Narozdiel od vzorkovania, kde pomocou vhodných podmienok je možná presná rekonštrukcia signálu, kvantizácia je nezvratný proces a vo výsledku je možná strata informácií. Podstatou jeho činnosti je zaokrúhlenie hodnôt

navzorkovaného signálu na predom definované kvantizačné hladiny.[18]



Obr. 2.6: Diagram odchýlky vysielania antény [17].

2.5.2 Odstránenie jednosmernej zložky

Po digitalizácii signálu odstránime jednosmernú zložku, ktorá je vyjadrená ako stredná hodnota signálu. Tú môžeme vypočítať priemerovaním signálu, rovnica 2.7.

$$\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s[n] \quad (2.7)$$

Ak sa blíži k nule, tak sa v signále jednosmerná zložka nevyskytuje. Naopak ak je rôzna od nuly, tak v signále nenesie žiadnu užitočnú informáciu, práve naopak nám môže pri ďalších výpočtoch zasiahnuť požadované informácie v signále. Jej odstránenie prevedieme práve odčítaním tejto strednej hodnoty.[17]

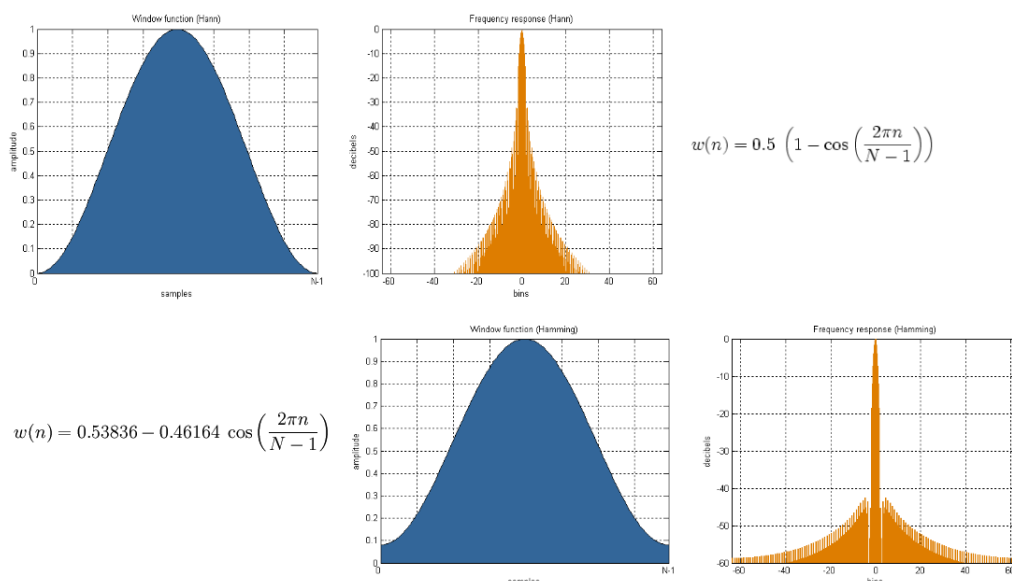
2.5.3 Segmentácia

Segmentácia je delenie signálu na menšie časti - rámce. Rámce sú úseky signálu, vzniknuté z pôvodného signálu. Toto rozdelenie potrebujeme pre ďalšie spracovanie. Dĺžka rámcov by mala byť dostatočne malá nato, aby bolo možné pokladať signál na danom úseku za stacionárny. Avšak rovnako by mala byť taká veľká, aby sme mohli čo najpresnejšie odhadnúť požadované parametre signálu. Veľkosť rámca sa často volí ako mocnina čísla dva ($2^1, 2^2, \dots, 2^n$). Čím rýchlejšie sa bude objekt pohybovať, tým väčšiu veľkosť rámca zvolíme[17].

Okenná funkcia minimalizuje rozptyl tvarovaním hľadôb signálu v segmente, ktorý spôsobuje Fourierova transformácia použitá na neperiodický signál. Existuje mnoho okenných funkcií, ktoré môžeme aplikovať v závislosti na tom aký je požadovaný signál. Každá mení výsledok spektra trochu iným spôsobom. Výber správnej okennej funkcie nie je jednoduchá úloha. Každé okno má svoju vlastnú charakteristiku a vhodnosť pre rôzne druhy signálov. Dôležité je avšak zvoliť vhodnú okennú funkciu na daný typ dát.

Dve najefektívnejšie okenné funkcie pre použitie v radaroch sú **Hammingovo okno** a **Hanningovo okno (Hann)**. Obe sú reprezentované sinuusovým tvarom. Obe pripomínajú tvar kopca. Avšak, Hanningovo okno sa dotýka nuly na oboch koncoch a tým zabezpečuje kontinuitu signálu. Hammingovo okno nedosahuje na okrajoch presnej hodnoty nula a preto stále obsahuje určitú diskontinuitu signálu. Tieto okenné funkcie sú vhodné pre meranie šumu signálu a majú lepšiu frekvenčnú rozlíšenosť ako iné okenné funkcie a popritom

zachovávajú dobrú presnosť.[7][2]



Obr. 2.7: Okenná funkcia Hanning (hore) a okenná funkcia Hamming (dole) a ich frekvenčná odozva pre funkciu sínus[1].

2.5.4 Zero-padding

Frekvenčné rozlíšenie závisí na počte spracovaných vzorkov. Ak sa teda do analyzovaného signálu pridajú vzorky, v našom prípade metódy **zero padding** nuly, zvýšime tým vo výsledku frekvenčné rozlíšenie spektra. Dôvod prečo chceme mať na konci vzorku nuly je aby vzorka signálu mala hodnoty mocniny dvojky. Ak je časové spektrum signálu reprezentované mocninou dvojky, zvýši to rýchlosť spracovania signálu Rýchlou Fourierovou Transformáciou, ktorú si vysvetlíme v ďalšej časti. Dôležité si je uvedomiť, že touto metódou nepridávame do spektra žiadnu novú informáciu.[6]

2.5.5 Frekvenčná analýza

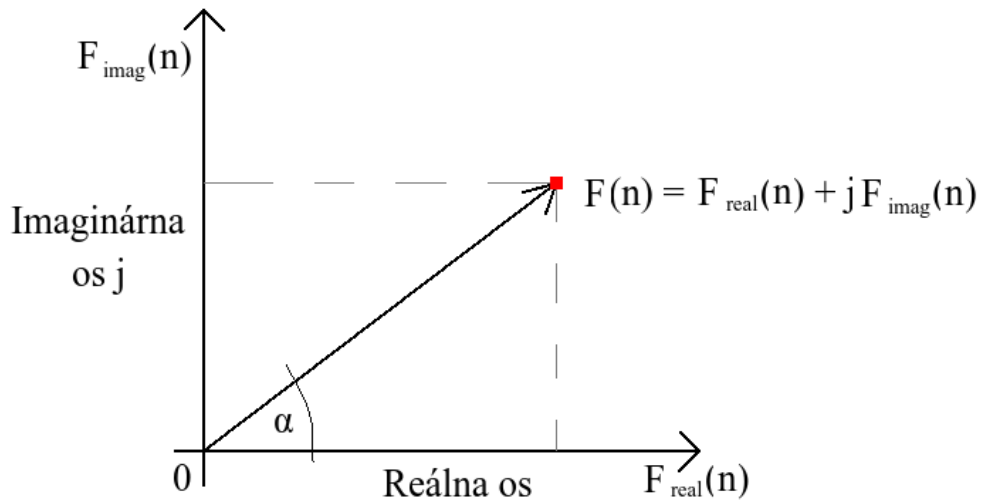
Signál máme reprezentovaný v časovom spektre, pre jeho ďalšie spracovanie a získanie potrebných informácií ho potrebujeme previesť do frekvenčného spektra. Tým, jednoducho povedané, dostaneme rovnaký signál s iným vzhladom. Najlepšie nám na to poslúži matematická funkcia - Diskrétna Fourierova transformácia (DFT). Nami používaná metóda bude Rýchla Fourierová transformácia (FFT), ktorá je lepšie optimalizovaná a rýchlejšia metóda ktorá vznikla z DFT, vykazujúca rovnako dobré výsledky ako DFT. Jej funkčnosť v jednoduchosti znamená, že zoberie signál a rozloží ho na sínusové vlny rôznych amplitúd a frekvencií[6][2].

Diskrétna Fourierova transformácia vznikla z Fourierovej transformácie, od ktorej sa líši tým, že pracuje s diskretným časom. DFT definuje sekvenciu diskretných hodnôt frekvenčného rozsahu, znázornené v rovnici ??.

$$F(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{-j2\pi nk/N} (n = 0..1, \dots, N-1) \quad (2.8)$$

$F(n)$ reprezentuje výsledný frekvenčný rozsah. $f(k)$ je diskretná sekvencia v časovom rozsahu, k reprezentuje index v danom frekvenčnom rozsahu, a n index v danom časovom rozsahu. N predstavuje celkový počet vzoriek. Všetky hodnoty $F(n)$ sú reprezentované prostredníctvom reálnej a imaginárnej zložky čísla, ktoré sú znázornené na obrázku 2.8. Budeme ich ďalej v práci označovať ako I a Q . Z týchto dvoch zložiek môžeme zistiť fázový posun a to pomocou podielu imaginárnej a reálnej zložky, ktorá je prevedená cez inverznú trigonometrickú funkciu tangens. Frekvencia snímkov $F(n)$ je vyjadrená v rovnici:

$$F_{\alpha}(n) = \tan^{-1}\left(\frac{F_{imag}(N)}{F_{real}(N)}\right) \quad (2.9)$$



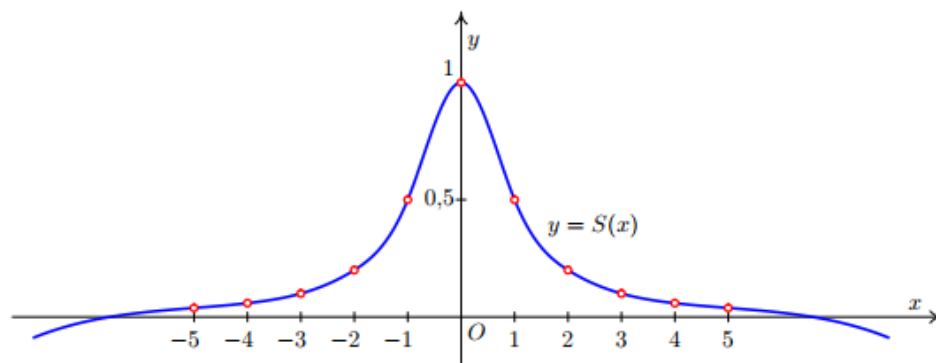
Obr. 2.8: Vzťah komplexnej hodnoty $F(n)$ [5]

2.5.6 Interpolácia

Interpolácia je matematická metóda, ktorá nám slúži na nájdenie približnej hodnoty funkcie v nejakom intervale, ak je nám jej hodnota známa v iných bodoch tohoto intervalu.

Metóda pozostáva z odhadu hodnôt bodov danej funkcie medzi jej zadanými hodnotami $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$. Hodnoty interpolujeme pre nejaký interval, vždy medzi dvojicou bodov. Do výpočtu nám vstupujú hodnoty z daného intervalu, ktorý počítame, rovnako aj hodnoty z predchádzajúceho a nasledujúceho intervalu. Týmto spôsobom sa dosiahne hladšia a presnejšia interpolácia

V našej práci použijeme interpoláciu Spline, ktorá oproti iným interpolačným metódam prináša najviac spojitú spojenie týchto hodnôt na celom intervale. Metóda je ilustrovaná na obrázku 2.9. [3]



Obr. 2.9: Grafická ukážka interpolačnej funkcie spline. Ktorá prirodzene spája body[3].

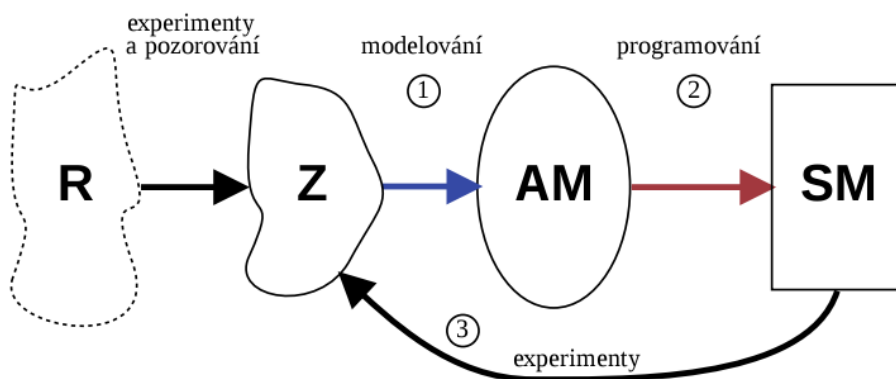
2.6 Modelovanie a simulácia

Simulácia je metóda získavania nových poznatkov o systéme experimentovaním s jeho modelom. Pre účely simulácie musí byť model popísaný odpovedajúcim spôsobom.

Model je napodobenina systému iným systémom, napríklad v našom prípade napodobenina reálneho, fyzického radaru počítačovým programom. Model musí pre naše účely napodobňovať všetky podstatné vlastnosti systému.

Systém môžeme všeobecne definovať ako súbor elementárnych častí, prvkov systému, ktoré majú medzi sebou nejaké väzby, prepojenia.

Modelovanie a simulácia je proces vytvárania modelu systému na základe našich znalostí získaných o systéme. Kvalita vytvoreného modelu v zásade ovplyvní výsledky získané experimentovaním s modelom.[8]



Obr. 2.10: Celý proces modelovania a simulácie Realita \rightarrow Znalosti \rightarrow Abstraktní Model \rightarrow Simulační Model[8]

2.6.1 Princípy

1. Vytvoríme abstraktný model(AM), ktorý zahrňuje naše získané znalosti o systéme, ale zahrňujeme len tie, ktoré su pre naše účely podstatné. Jeho forma môže byť napríklad pomocou matematických rovníc.

2. Na základe abstraktného modelu vytvoríme simulačný model(SM), ktorý už nezjednodušuje a musí zahŕňať všetky vlastnosti AM. SM je spustiteľný program, ktorý počíta výsledky podľa zadaného počiatočného stavu, vstupov a parametrov modelu. V našom prípade sa musí správať ako referenčný radar K-MC4.
3. So simulačným modelom vykonávame simulačné experimenty a výsledky analyzujeme.

2.6.2 Diskrétny systém a simulácia

Pod pojmom diskretný systém rozumieme systém s konečným počtom stavov. Diskretný systém je často modelovaný vo forme orientovaných grafov a je pravdivostne analyzovaný pomocou algoritmov. Pretože diskretné systémy majú daný počet stavov, môžu byť charakterizované aj pomocou presných matematických modelov.

Počítač je konečný stavový automat, ktorý môže byť vnímaný ako diskretný systém. Pretože počítače sú často používané pre modelovanie, nie len diskretných systémov ale rovnako aj prechodných systémov boli vyvinuté metódy ako reprezentovať prechodné modely reálneho sveta ako diskretné systémy.

Jednotlivé, v reálnych systémoch prebiehajúce procesy môžeme popísať sekvenciou krokov alebo príkazmi programovacieho jazyka. Takáto postupnosť príkazov vyjadruje chovanie celej triedy procesov. Ak máme viac procesov (paralelné procesy) musíme zaistiť ich vzájomnú komunikáciu, napríklad prostredníctvom správ. Súčasťou popisu chovania procesov musí byť taktiež zaistenie ich synchronizácie pri používaní zdieľaných prostredíkov[8].

2.6.3 Simulovanie činnosti radaru

Je veľa spôsobov ako popísať diskretný systém. V tejto práci použijeme popis programom v programovacom jazyku, vo forme procesov. Snažíme sa zamerať na simuláciu radaru so zjednodušenou fyzikálnou podstatou problému správneho nasimulovania radaru. To znamená, že sa sústredíme hlavne na správnu simuláciu prostredia a šírenia samotného signálu, viac ako na fyzikálnu podstatu šírenia tohto signálu. A to napríklad tak, že zanedbáme fyzikálne vlastnosti prostredia v ktorom sa bude šíriť.

Kapitola 3

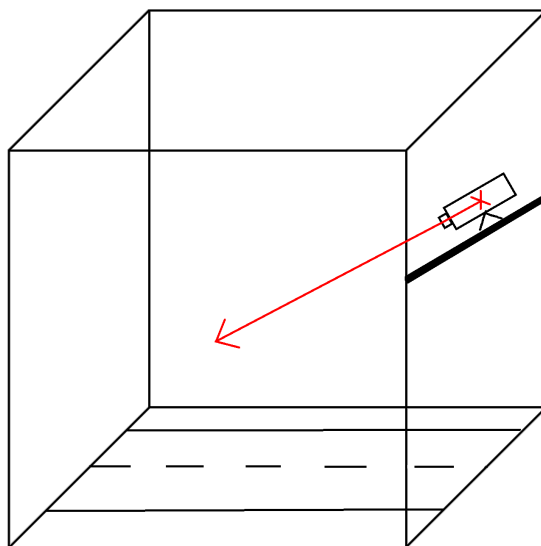
Návrh

V tejto kapitole sa budeme venovať návrhu a riešeniu simulácie šírenia radarového signálu. Pomocou získanej a vysvetlenej teoretickej časti prechádzame na kapitolu návrhu, kde si načrtneme nami vytvorené riešenie, ktoré v ďalšej implementačnej časti následne použijeme.

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.

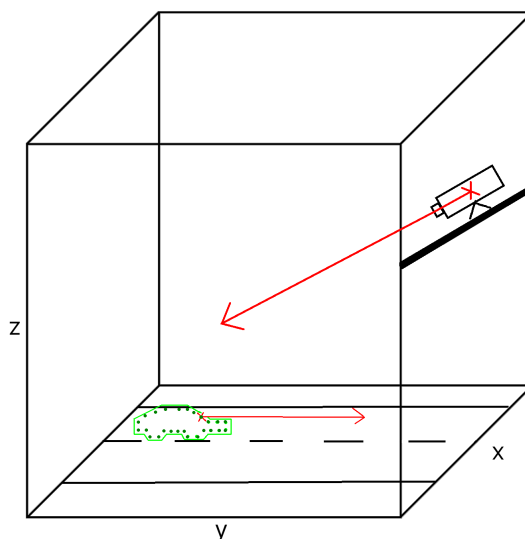


Obr. 3.1: Základná predstava priestoru, ktorý budeme simulovať.

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 tohto vektora, znázornené na obrázku 3.1. Dodatočne môžeme pridať aj naklonenie radaru na mieste, do strán. Týmto spôsobom pri naklonení na mieste v 90° uhle získame prehodenie jeho vertikálnej a horizontálnej osi. ; Bod definujúci polohu radaru bude slúžiť ako miesto pre generovanie signálu a zdroj vysielania 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 vysielat naše paprsky, teda cieľ radaru.



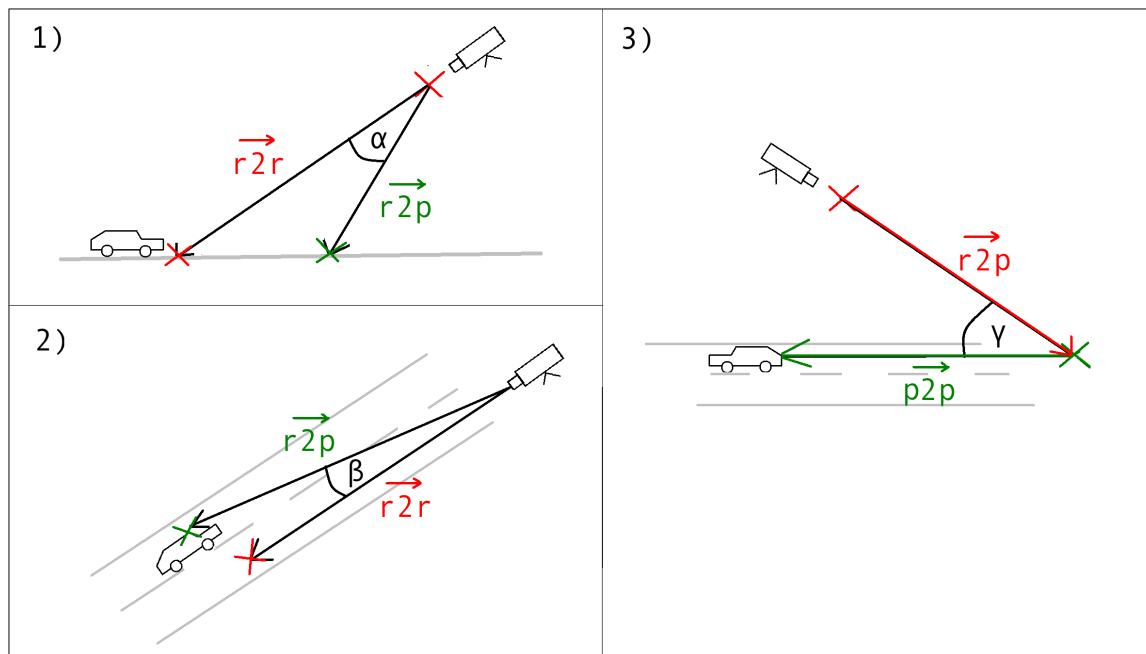
Obr. 3.2: Základná predstava priestoru, obsahujúci cieľový objekt.

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 zdanlivo pohybovať ako jeden celok, znázorne

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. RCS sa bude dať jednoducho nastaviť ako vstupná hodnota programu. Rovnako ako súradnice umiestnenia bodov, rýchlosť objektu, charakteristika radarového modulu a nastavenia simulácie.



Obr. 3.3: Grafické znázornenie nami riešených a reprezentovaných uhlov. 1) Vertikálny 2) Horizontálny 3) Priestorový.

3.2.1 Vertikálny uhol

Pomocou obrázku 3.3 časti 1) vidíme myšlienku pri získavaní hodnoty vertikálneho uhlu. Trojrozmerný priestor si premietneme do správneho dvojrozmerného pre získanie vertikálneho uhlu a to tak, že 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 žiadúci vertikálny uhol.

3.2.2 Horizontálny uhol

Obdobne ako sme získali uhol vertikálny vieme získať aj uhol horizontálny, obrázok 3.3 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.

3.2.3 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 reprezentovaný zhukom svojich bodov. Každý bod ma rovnakú rýchlosť v a smer pohybu, ktorý určuje jeho vektor pohybu.

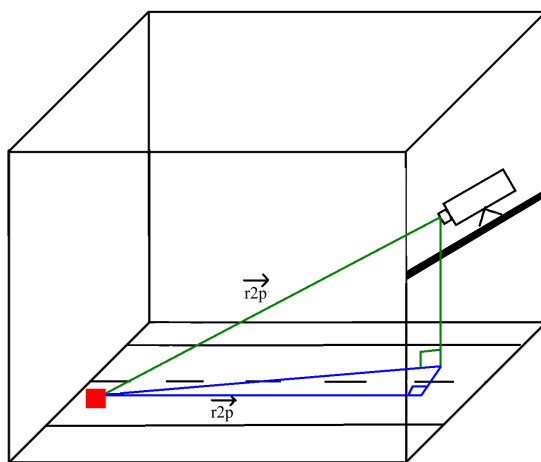
Náš radar imaginárne vysiela nepretržite v každom okamihu pohybu objektu paprsok, čo v našej simulácii znamená veľa výpočtov pre charakteristika tohto imaginárneho paprsku.

3.2.4 Priestorový uhol

Pre výpočet frekvencie signálu vracajúceho sa do radaru budeme potrebovať priestorový uhol, ktorý zvierá vektor radaru s vektorom pohybu objektu. Obrázok 3.3 časť 3). Vektor radaru je nám už dobre známy a máme ho označený ako $\vec{r2r}$. 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 $\vec{p2p}$ (point to point). Uhol, ktorý tieto 2 vektory zvierajú, je náš požadovaný priestorový uhol.

3.2.5 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.



Obr. 3.4: Euklidova vzdialenosť.

Euklidovu vzdialenosť teda vypočítame ako absolútnu hodnotu normály pozície radaru od ktorej odčítame pozíciu objektu.

3.2.6 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:

$$F_r = 2 * v * \frac{F_t}{c} * \cos(\gamma) \quad (3.1)$$

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

3.2.7 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, ktorá bola kompletne vysvetlená v teoretické časti 2.4.

$$P_r = \frac{\lambda * RCS * \sqrt[10]{10^{loss}}}{(4\pi)^2 * d^4} \quad (3.2)$$

$$\lambda = \frac{c}{F_t} \quad (3.3)$$

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 ???. 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 vysielateľ aj prijímač umiestnený na spoločnej anténe, umocníme to na štvrtú.

Kapitola 4

Implementácia

Táto kapitola sa venuje samotnému prevedeniu návrhu do prostredia programovacieho prostredia Matlab, čo môžeme považovať za cieľ tejto bakalárskej práce. V tejto implementácii sme použili nástroje Matlab, Gimp a Excel. Prvý spomenutý nástroj bol použitý s licenciou poskytnutou Ústavom počítačovej grafiky a multimédií, Fakulty Informačných Technológií, Vysokého učení technického v Brne. Zvyšné dva spomenuté nástroje boli použité s opensource licenciou.

Pre overenie informácií z algoritmov spracovania signálov, ktoré sme získali z použitých zdrojov a rovnako aj pre nové kalkulácie bude využité matematické prostredie Matlab. To bolo zvolené pretože obsahuje veľa vstavaných funkcií, ktoré nám zjednodušia prácu.

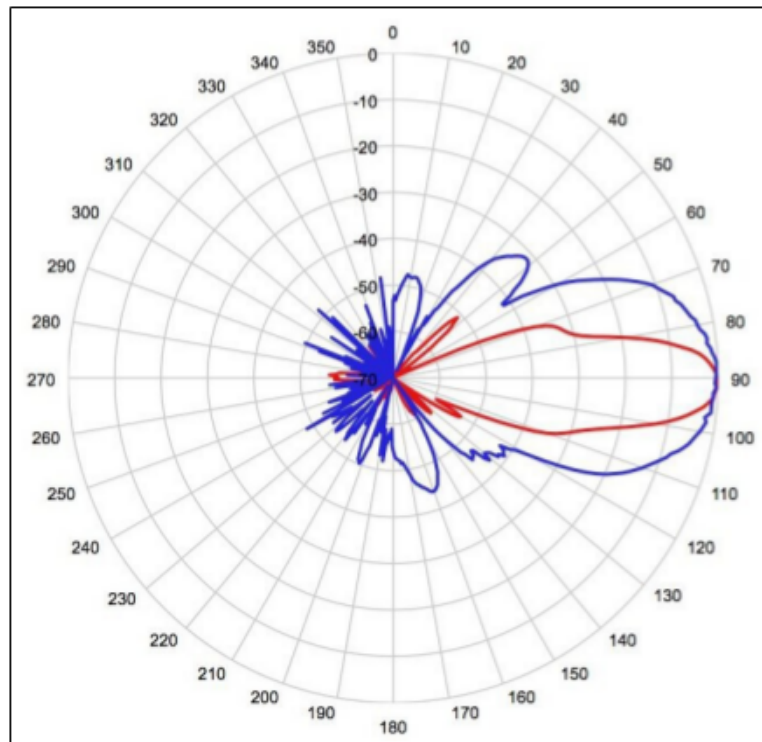
Radar KMC-4, ktorý sme sa rozhodli pre túto simuláciu používať ako referenčný má svoje vlastnosti, ktoré musíme implementovať aj do nášho simuláčného radaru. Všetky tieto údaje boli predom získane výrobcom tohto radaru, firmou RFbeam a sú umiestnené v jeho datasheete [9], preto ich nemusíme nadobudnúť experimentálne.

- Vysielacia frekvencia radaru KMC-4 je 24.150GHz
- Zisk antény je 13dB
- Zisk vysielача
- Zisk príjmača

4.1 Charakteristika antény

Hardwarový modul samotného radaru mieri na určitý bod. Nemôže vysielat a prijímat všetky svoje paprsky do všetkých bodov a smerov rovnomerne. Charakteristika antény, resp. anténový diagram reprezentuje aké je potlačenie vysielaného signálu v decibeloch, jednotlivo v horizontálnom a vertikálnom smere vzhľadom na vysielaní signálu od vektoru radaru v uhlových stupňoch. Tento údaj je obsiahnutý v datasheete a je len graficky znázornený.

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 4.1.



Obr. 4.1: Diagram graficky zobrazujúci charakteristiku antény. Ktorý sme použili ako zdroj pre našu textovú verziu charakteristiky antény.[9].

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.

180 získaných hodnôt pre nás avšak nebude dostačných. Nato aby sme signál rekonštruovali musíme dodržať Nyquistov 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 zckockovateľý. Preto musíme tieto hodnoty interpolovať.

Pôvodný interval hodnôt obsahuje 180 bodov, ten vynásobíme tisícikou a pre týchto 180000 bodov sa malý interval interpoluje do veľkého pomocou matematickej metódy spline. To znamená, že pre väčší interval sme našli približné hodnoty funkcie medzi bodmi v danom menšom intervale.

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.

Vertikálny a Horizontálny uhol, ktorý sme výpočtami získali teraz vieme v každom okamžiku simulácie získať uhol radaru voči objektu. Tento uhol použijeme v nami predom pripravených .csv dátach a tým a 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.

4.2 Simulácia modelovanej scény

Samotná simulácia je tvorená spojeným všetkých menších celkov, ktoré boli doposiaľ v častiach Návrhu a Implementácie 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 10kHz, ktorá je odporúčaná frekvencia simulácie pre splnenie Nyquistovho teóremu. V prípade menšieho počtu krokov by mohlo dôjsť k antialiasingu.

Vstup simulácie

Program získava vstupné dáta zo súboru `input.json`, ktorý obsahuje stromovú štruktúru vstupných dát vo formáte JSON (JavaScript Object Notation). Tento spôsob bol zvolený z dôvodu možného ďalšieho využitia tohto simulátora výzkumnou skupinou, bez toho aby museli mať hlbšie povedomie o podrobnom funkčnosti kódu, resp. zasahovať priamo do neho. Všetky potrebné a modifikovateľné premenné sa dajú pohodlne a prehľadne upravovať pomocou tohto jazyka. Ktorý poskytuje možnosť jednoduchého a zrozumiteľného organizovania dát do polí, alebo agregovania do objektov. Je nezávislý na platforme. Týmto spôsobom dokážeme oddeliť zdrojový kód Matlabu od užívateľa. Teda vstup programu môže elegantne ovládať pomocou vstupného súboru a nemusí zasahovať priamo do matlabového zdrojového súboru. Samotný matlab, ho môže jednoducho a elegantne načítať pomocou pomocnej knižnice JSONLab.

Vstupné dáta sú reprezentované v minimálne dvoch súboroch. V prvom `scene.json`, je definované ako bude vyzeráť scéna a jej všetky nastavenia. Z globálnych nastavení obsahuje všetky informácie o radare, jeho vysielaciu frekvenciu a zisk antény. Z nastavení simulácie obsahuje počet krokov aký simulácia vykoná a prepínače pomocou ktorých si je užívateľ schopný nastaviť či mu má simulácia počas celého behu zobrazovať ako sa priestor mení, resp. či mu to má zobraziť len na začiatku pre kontrolu. Ďalej si z nastavení scény môže užívateľ nastaviť veľkosť scény v akej chce simulovať, pozíciu radaru v priestore a pozíciu miesta kam radar miery.

Druhý vstupný súbor reprezentuje nastavenie modelu. Pre každý model sa odporúča vytvoriť vlastný súbor. Ten obsahuje informácie o postavení modelu v priestore, jeho rýchlosti a hodnote RCS.

Vizualizácia vstupu

Kedže samotný beh programu je výpočetne náročný, predtým ako ho užívateľ spustí je rozumné, aby si overil ako jeho vstupné dáta vyzerajú. To znamená aby videl ako bude objekt v prostredí reprezentovaný, aký bude vektor jeho pohybu a v akých pozíciách sa bude nachádzať. Zapnutie tohto testovacieho rozhrania môže jednoducho pomocou nastavenia `global` a jeho prepínača `Test_simulation_setup` na hodnotu `on`. Matlab mu pomocou jednoduchého plotu zobrazí prostredie spolu so všetkými bodmi, ktoré reprezentujú užívateľom zadané objekty. Vzhľadom na plánované ďalšie využitie tohto programu to hodnotím ako potrebnú časť programu.

Spracovanie bodov

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 určuje pohybu 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 jeden až maximálne dva. V budúcnosti pri simulácii objektov pohybujúcich sa vzduchom by sa mohli zísť aj tretia osa.

Jadro

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 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 vo W pomocou radarovej rovnice P_r

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

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 počiatkový signál v ktorom sa zakompunuje naša prijatá frekvencia F_r spolu s výkonom prijatého signálu P_r .

$$\varphi_{d_t} = 2\pi * F_r * d_t \quad (4.1)$$

$$result(n) = sqrt(P_r) * e^{j(\varphi_1 + \varphi_{d_t})} \quad (4.2)$$

$$\varphi_1 = \varphi_1 + \varphi_{d_t} \quad (4.3)$$

Spojenie bodov objektu

Doposiaľ boli body reprezentujúce objekt, ktorý radar sledujú spracovávané samostatne, cez všetky doteraz vysvetlené kroky. V tejto časti spracovania signálu sa tieto body zlúčia dohromady a to tak spôsobom, že ich hodnoty v každom bode spočítame dohromady. Teda pre každú zložku signálu v danom bode a danom časovom okamžiku vznikne jedna v danom časovom okamžiku, ktorá bude súčet hodnôt všetkých bodov v danom časovom okamihu.

Spracovanie signálu

V poslednej fáze spracovania signálu nám ostáva už len tento signál segmentovať pomocou Hammingoveho okna cez ktoré tento signál 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*.

```
seg = seg - mean(seg);
X = fftshift(fft(seg.*hamming(SEG_LEN)', FFT_LEN));
```

4.3 Reprezentácia dát

Po získaní dát pre všetky naše body pohybujúceho sa objektu sa tieto body medzi sebou dohromady sčítajú, čím vytvorí jeden bod, ktorý reprezentuje vlastnosti všetkých ako jeden objekt. Ten je následne reprezentovaný jednorozmerným polom hodnôt, ktorého veľkosť je priamo úmerná počtu simulačných krokov. Každý tento prvok obsahuje svoju reálnu a imaginárnu zložku.

Dáta sa najlepšie a najnázornejšie reprezentujú pomocou grafu a teda funkcie `|plot|` rozhrania matlab. Samostatne vykresľujeme graf pre reálnu a imaginárnu zložku, resp. rozlíšime tieto dve zložky rôznymi farbami.

Kapitola 5

Testovanie a výsledky

Výsledkom celého procesu simulácie signálu, od vstupný dát, až po kompletne výpočty, ktoré sme si doposiaľ v tejto práci spomenuli je súbor hodnôt, ktoré obsahujú reálnu a imaginárnu zložku signálu. To považujeme za finálny výstup tohto programu. Pre názorne a lepšie pochopenie výsledku tieto hodnoty zobrazíme v podobe grafu reprezentujúceho časové spektrum oproti frekvencii. Kde môžeme vidieť amplitúdy reprezentujúce narušenie signálu, čo je spôsobené objektom, ktorý popred radarom prešiel. Ešte lepšiu reprezentáciu týchto dát je možné vidieť na spektrograme priamo pod grafom. Dôležité je si uvedomiť, že signál má najväčšiu amplitúdu práve tam, kde je imaginárna zložka čísla v nule, teda fáza signálu sa pretína s nulou.

Tento finálny výsledok môže byť ďalej spracovaný algoritmami výzkumnej skupiny.

Porovnanie s realnými dátami.

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

Kapitola 6

Záver

6.1 Zhodnotenie výsledkov

6.2 Dalšie pokračovanie práce

Po dôkladno získavaní informácií a naštudovaní problému sa bude táto práce ďalej uberať v praktickom smere. Pomocou získaných algoritmov a informácií sa pokusím implementovať program pre šírenie radarových vln vo vnútri modelovanej scény, najprv v programe Matlab a tak vo forme knižnice C++.

Po úspechu tejto časti modelovania, budem pokračovať simulačnými experimentov kde sa budú porovnávať reálne a simulované dáta. Vzhľadom na tieto výsledky sa bude ladiť mnou vytvorený model.

Vo výsledku by mala táto práca znázorňovať ako sa šíria elektromagnetické vlny priestorom v porovnaní s reálnym radarom 2.5.

Literatúra

- [1] DSP Window Functions in PowerSDR. FlexRadio Systems Knowledge Center 2009, [Online; citované 20.01.2017].
URL <http://kc.flex-radio.com/KnowledgebaseArticle50439.aspx>
- [2] Understanding FFTs and Windowing. National Instruments 2017, [Online; citované 20.01.2017].
URL <http://download.nicom/evaluation/pxi/Understanding%20FFTs%20and%20Windowing.pdf>
- [3] Břetislav Fajmon, I. H.: Numerická matematika a pravděpodobnost. 2014, [Online; citované 20.01.2017].
- [4] Hicks, J. L.: Radar Principles. 1998, [Online; citované 12.01.2017].
URL <http://www.rfcafe.com/references/electrical/NEETS-Modules/NEETS-Module-18-1-11-1-20.htm>
- [5] Lyons, R. G.: *Understanding digital signal processing*. 1st ed. Pearson Education, 1996, ISBN 0-201-63467-8.
- [6] Lyons, R. G.: *Understanding Digital Signal Processing*. Prentice Hall PTR, 2001, ISBN 0-201-63467-8.
- [7] Mahafza, B. R.: *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. Chapman and Hall/CRC, 2000, ISBN 1-58488-182-8.
- [8] Peringer, P.: Modelování a simulace, studijní opora. FIT VUT v Brně, 2012, [Online; citované 13.01.2017].
- [9] RFbeam: K-MC4 Monopulse Radar Transceiver Datasheet. Jan 2013, [Online; citované 12.01.2017].
URL https://www.rfbeam.ch/files/products/18/downloads/Datasheet_K-MC4.pdf
- [10] Ridenour, L. N.: *Radar system engineering*. Dover, 1965.
- [11] Sen M Kuo, B. H. L.: *Real-Time Digital Signal Processing*. OHN WILEY and SONS, LTD, 2001, ISBN 0-470-84137-0.
- [12] Skolnik, M.: *Radar Handbook*. New York : McGraw-Hill Professional, 2008, ISBN 978-0071485470.
- [13] Skolnik, M. I.: *Introduction to Radar Systems*. McGraw-Hill book company, 1981, ISBN 0-07-066572-9.

- [14] Weidmann, W.: Radar Sensing and Detection of Moving and Stationary Objects. April 2017, http://www.innosent.de/fileadmin/media/dokumente/Downloads/Application_Note_I_-_web.pdf/.
- [15] Wolff, C.: Radar Tutorial. [Online; citované 12.01.2017].
URL <http://www.radartutorial.eu/index.en.html>
- [16] Yuefei Zeng, U. B.: Radar Beam Tracing Methods Based on Atmospheric Refractive Index. [Online; citované 24.01.2017].
URL <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JTECH-D-13-00152.1>
- [17] Černocký, J.: Zpracování řečových signálů — studijní opora. Dec 2006, [Online; citované 14.01.2017].
- [18] Černocký, J.: Signály a systémy, studijné materiály k predmetu. FIT VUT v Brne, 2015, [Online; citované 20.01.2017].

Prílohy