

# Simulátor šírenia radarového signálu

Michal Ormoš\*

## Abstrakt

Táto správa je predmetom Bakalárskej práce, ktorá vznikla na Fakulte Informačných Technológií v Brne a pojednáva o Simulátore šírenia radarového signálu. Cieľom, ako názov napovedá bolo vytvoriť simulátor, ktorý by bol schopný v abstraktnom prostredí simulovať celý priebeh zachytávania signálu vyslaného z radaru, cez 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 rôzne body, statické aj dynamické, ktoré 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 zahytenia objektu radarom a následne jeho zobrazenie v sprektograme, ktorý odráža rýchlosť objektu voči radaru. Využitie tohto simulátora je vhodné pre všetky vedecké skupiny, ktoré sa zaujímajú o radarové technológie a spracovávanie výsledkov z ich výstupov. Moja technológia by im mohla ušetriť drahocenný čas a snahu v montovaní reálnych setup-ov v teréne a získavaní výsledkov. Teda by mohli pohodlne testovať rôzne setup-y a konfigurácie z pohodlia domova. Rovnako by mohla byť práca použitá ako vyučovacia pomôcka pre lepšie pochopenia činnosti radaru.

**Kľúčové slová:** Radar — Simulácia — Matlab

**Priložené materiály:** [Demonstration Video](#) — [Downloadable Code](#)

\*[xormos00@stud.vutbr.cz](mailto:xormos00@stud.vutbr.cz), Fakulta informačních Technologií, Vysoké učení technické v Brně

## 1. Úvod

**Motiváciou** pre vznik tohto projektu bol možný prínos k výskumnej skupine na Fakulte Informačných technológií v Brně zaoberajúcej sa technológiou využitia radarov. Takýto druh softwaru nemajú k dispozícii a nič podobného charakteru vo svete softwaru ešte nenašli.

**Definícia problému** je, že potrebujeme simulovať radar ako technológiu a to presne šírenie jeho okom neviditeľného signálu, ktorý sa presúva v priestore. 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 radary značky od firmy RFBeam, ktoré využívajú pra-

covníci fakulty.

**[Existing solutions]**

**[Our solution]**

Možný **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 setupov a získavaní dát, ktoré by ďalej používali na spracovanie signálov. Rovnako by tento modul mohol slúžiť ako výukový prostriedok pre lepšie pochopenie a názornú ukážku práce radaru v interaktívnom spôsobe zmeny prostredia, čo by vyústilo k rôznym výsledkom, ktoré pomôžu študentovi lepšie pochopiť význam a použitie technológie.

## 2. Radar

Radar (skratka anglického slova **RA**dio **D**irection **A**nd **R**anging) je elektromagnetický senzor pre detekciu a lokáciu objektov. Jeho všeobecný princíp

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38 fungovania môže byť zhrnutý v nasledujúcich bodoch  
39 [1][2]:

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

## 57 Základné časti radaru

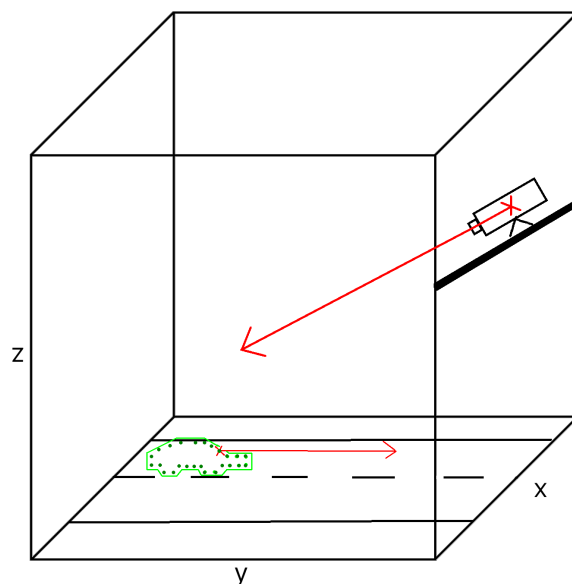
58 1. **Anténa** Je to čo spája radar s vonkajším svetom.  
59 Vykonáva viac funkcií:

- 60 • Dovoľuje šíriť vysiellanú energiu z vysielača.
- 61 • Zhromažďuje zachytenú energiu odrazenú z cieľa pre prijímač.
- 62 • Poskytuje informáciu o azimute a elevácii radaru k cieľu.
- 63 • Jej tvar, veľkosť a funkčnosť určuje skúmaný objem priestoru

67 2. **Vysielač** Dôležitá časť radaru, ktorá generuje  
68 a vysiela signál v požadovanej vlnovej dĺžke,  
69 Signál je generovaný zo zdroja (**generátor signálu**).  
70 potrebný výkon sa získava použitím výkonneho  
71 oscilátora alebo zosilňovača spolu s nízkonapäťovým  
72 zdrojom.

73 3. **Prijímač** Zachytáva prijatú odrazenú energiu z  
74 cieľa. Vzhľadom na vzdialenosť a materiál ob-  
75 jektu od ktorého bol signál odrazený sa bude  
76 odvíjať jeho intenzita, ktorá dosahuje veľmi malé  
77 hodnoty (väčšinou až  $10^{-9}W$ ). Preto sa signál  
78 musí zosilniť pomocou **Zosilovača** pre ďalšie spracovanie a je dôležité aby anténa neobsahovala žiaden šum. Nasleduje **mixér**, ktorý porovná referenčný signál z **oscilátora** s prijatým signálom. Potom sa môže začať časť spracovania a extrakcie informácii zo signálu. Pomocou zosilovačov a filtrov pre spracovanie signálov.

85 4. **Prepínač** Prvok slúžiaci k tomu aby sa prepínala  
86 funkcia prepínača a vysielača na anténe. Touto  
87 zmenou funkcie chráni citlivé zariadenie prijímača



Obrázok 1. Základná predstava priestoru, ktorý budeme simulovať.

popritom ako vysielač vysiela. Rovnako pres- 88  
merúva šum vysielača do prijímača, ktorý ho 89  
môže dopredu vyfiltrovať. 90

5. **Zosilňovač** V prípade vysielania signálu je jeho 91  
úlohou zosilniť signál pred vyslaním, aby sa na- 92  
priek jeho diaľke, ktorú musí k cieľu uraziť vrátil 93  
čo najintenzívnejší. V prípade prijímania signálu 94  
ho taktiež zosilňuje, pretože vracajúci sa signál 95  
je veľmi malý. 96

Radar K-MC4 od Švajčiarskej spoločnosti RF- 97  
Beam Microwave GmbH je pre nás implicitný radar a 98  
budeme to v tejto práci simulovať. 99

## 3. Simulačné prostredie 100

### Radar v priestore 101

V návrhu simulačného prostredia si pre jednoduchosť 102  
myslenia predstavme kocku, ktorá tvorí náš priestor 103  
pre umiestnenie radaru, objektu a definovanie pod- 104  
mienok, ktoré pre simuláciu radaru potrebujeme. Ako 105  
scénu si predstavme meranie rýchlosti na diaľnici s 106  
použitím radaru umiestnenom na vyvýšenej mieste, 107  
ktorý sleduje vozidlá na vozovke pod ním. 108

V priestore je teda umiestnený radar, pre pred- 109  
stavu napríklad na diaľničnom moste, ktorého zorné 110  
pole smeruje na diaľnicu pod ním, teda objekty, ktoré 111  
radar sleduje ho mňajú po jeho vertikálnej ose, teda 112  
prechádzajú pod ním. 113

Radar bude reprezentovaný ako práve jeden ne- 114  
hybný bod v priestore. Tento bod má mať presne 115  
určené svoje súradnice v priestore, ktoré charakter- 116  
izujú jeho polohu. Rovnako obsahuje vektor, ktorý 117  
určuje bod kam radar mieri. To znamená, že je nevy- 118  
hnutne dôležité vedieť kam radar presne mieri počas 119

120 celej simulácie. Radar bude možné jednoducho natáčať  
121 po vertikálnej a horizontálnej ose pomocou jeho vek-  
122 toru. Voliteľne môžeme pridať aj naklonenie radaru na  
123 mieste, do strán 1.

124 Bod definujúci polohu radaru bude slúžiť ako miesto  
125 pre generovanie signálu a zdroj vysielania paprskov  
126 na vektor zorného poľa radaru. Podľa súradníc polohy  
127 radaru a vektoru radaru sme schopný určiť nevyh-  
128 nutné uhly a vzdialenosti, ktoré budeme potrebovať  
129 pre výpočty simulácie.

### 130 Objekt v priestore

131 Pre správnu funkciu radaru a získanie čo najväčšieho  
132 množstva simulačných dát je potrebné rovnako ako aj  
133 v návrhu samotného radaru, aj čo najpresnejšie popísať  
134 objekt na ktorý budeme v simulácii vysielat naše pa-  
135 prsky, teda cieľ radaru.

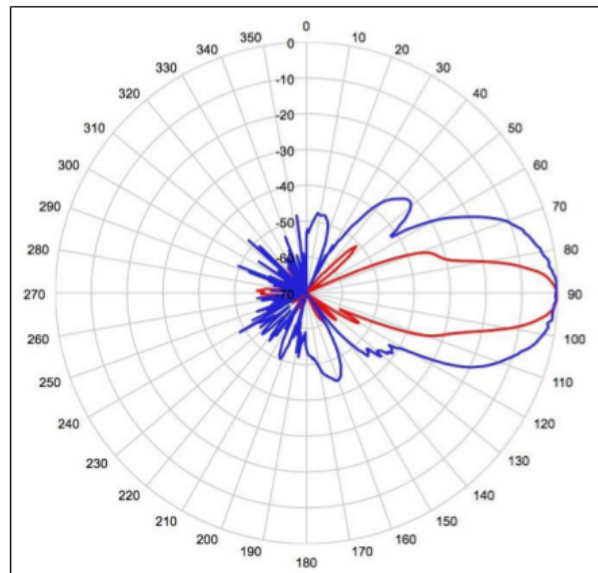
136 Objekt preto budeme reprezentovať ako zhuk bodov  
137 v určitom tvare, ktorý pripomína objekt reálneho sveta,  
138 ako napríklad v našom návrhu, osobné vozidlo.

139 Každý tento bod objektu, pričom počet bodov  
140 ohraničujúci objekt bude vopred určený, bude pre  
141 radar vnímaný ako samostatný objekt a bude obsahovať  
142 svoje súradnice v priestore. Každý tento bod, ktorý je  
143 vlastne objekt bude vykonávať pohyb v priestore, čo  
144 bude reprezentovať pohyb celého objektu. Tento po-  
145 hyb bude reprezentovaný vektorom pohybu bodu, čo je  
146 vlastne vektor, ktorý obsahuje aktuálne súradnice bodu  
147 vo vzťahu so súradnicami bodu v ďalšom časovom  
148 okamžiku. Súčasťou jeho pohybu bude aj rýchlosť po-  
149 hybu objektu, ktorá bude dopredu definovaná a potrebná  
150 pre ďalšie výpočty. Všetky body v objekte sa teda budú  
151 zdanlivo pohybovať ako jeden celok 1.

152 Podstatnou charakteristikou bodu bude jeho RCS  
153 (Radar Cross-section), ktorý reprezentuje ako intenzívne  
154 bude daný bod reagovať na prijatý signál, teda akou  
155 silou a smerom odrazi signál späť. To všetko závisí  
156 na simulovanom tvare a materiálu objektu, rovnako  
157 ako aj uhlom pod akým je voči paprsku. RCS sa  
158 bude dať jednoducho nastaviť ako vstupná hodnota  
159 programu. Rovnako ako súradnice umiestnenia bodov,  
160 rýchlosť objektu a...

161 Radar KMC-4, ktorý sme sa rozhodli pre túto  
162 simuláciu používať ako referenčný má svoje vlastnosti,  
163 ktoré musíme implementovať aj do nášeho simulačného  
164 radaru. Všetky tieto údaje boli predom získane vyrob-  
165 com tohto radaru, firmou RFbeam a sú umiestnené v  
166 jeho datasheete [3], preto ich nemusíme nadobudnúť  
167 experimentálne.

- 168 • Vysielacia frekvencia radaru KMC-4 je 24.150GHz
- 169 • Zisk antény je 13dB
- 170 • Zisk vysielача
- 171 • Zisk prijmača



**Obrázok 2.** Diagram graficky zobrazujúci charakteristiku antény. Ktorý sme použili ako zdroj pre našu textovú verziu charakteristiky antény[3].

## 4. Charakteristika antény

172

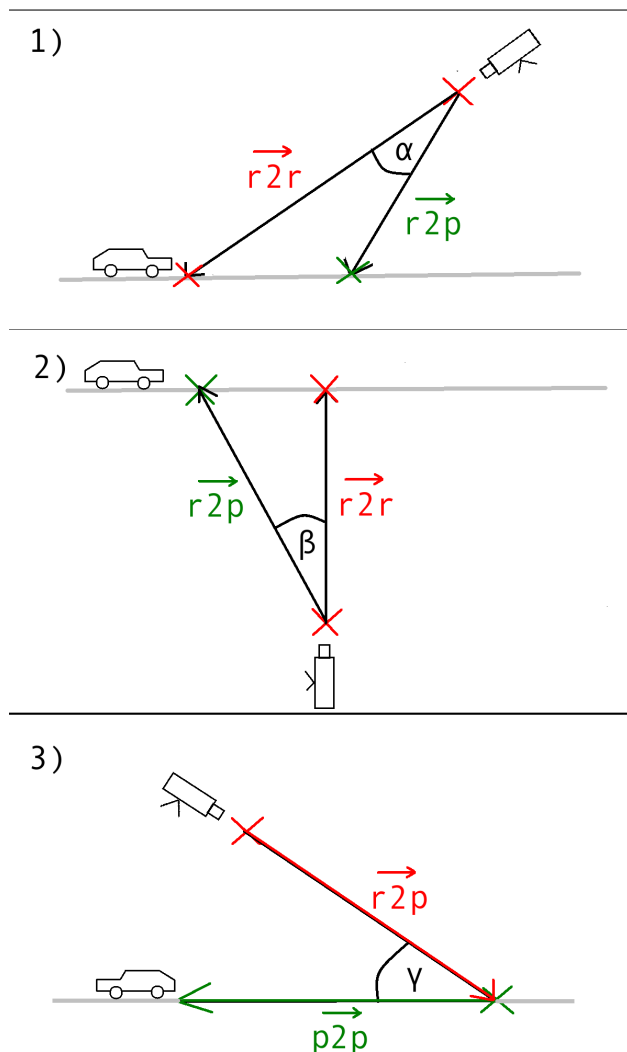
Hardware samotného radaru mieri na určitý bod. Nemôže  
vysielat a prijímať všetky svoje paprsky do všetkých  
bodov a smerov rovnomerne. Charakteristika antény,  
resp. anténový diagram reprezentuje aké je potlačenie  
vysielaného signálu v decibeloch, jednotlivo v hori-  
zontálnom a vertikálnom smere 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. Umi-  
estnili 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 2.

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

180 získaných hodnôt pre nás avšak nebude dostatočných.  
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  
zkockovateľý. Preto musíme tieto hodnoty interpola-  
vať.

Pôvodný interval hodnôt obsahuje 180 bodov, ten



**Obrázok 3.** Grafické znázornenie nami riešených a reprezentovaných uhlov. 1) Vertikálny 2) Horizontálny 3) Priestorový.

tor 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.

### Horizontálny uhol

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

Pre uhly 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 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.

## 5. Vysielanie paprsku

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. Medzi týmito dvoma bodmi nám vzniká 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.

### 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.

### Priestorový uhol

Pre výpočet frekvencie signálu vracajúceho sa do radaru budeme potrebovať priestorový uhol, ktorý zviaza vektor radaru s vektorom pohybu objektu. 3 časti

vynásobíme tisícokou 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 jednotlivito pre horizontálnu a vertikálnu zložku dvojrozmerného priestoru.

### Vertikálny uhol

Pomocou obrázku 3 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 vek-



274 3). Vektor radaru je nám už dobre známy a máme ho  
275 označený ako  $\vec{r}_r$ . Vektor pohybu objektu nie je nič iné  
276 ako jeho aktuálna pozícia v priestore vo vzťahu s jeho  
277 pozíciou v priestore v ďalšom časovom okamžiku,  
278 označme si ho  $\vec{p}_2$  (point to point). Uhol, ktorý tieto  
279 2 vektory zvierajú, je náš požadovaný priestorový uhol.

### 281 Prijatý signál

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

$$F_r = 2 * v * \frac{F_t}{c} * \cos(\alpha) \quad (1)$$

287 Kde rýchlosť objektu  $v$  je nami dopredu určená,  
288 rovnako ako aj vysielať frekvencie antény  $F_t$  v podiele  
289 s rýchlosťou svetla. To všetko je v súčine s kosínusom  
290 nášho priestorového uhlu.

### 291 Radarová rovnica

292 Pre náš finálny výpočet a to kalkuláciu energie,  
293 ktorá sa po odraze od objektu do radaru vráti musíme  
294 aplikovať radarovú rovnicu, ktorá bola vysvetlená v  
295 teoretické časti(XX).

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

## 296 6. Simulačný krok

297 Samotná simulácia je tvorená spojeným všetkých  
298 menších celkov, ktoré boli doposiaľ v častiach Návrhu  
299 a Implementácie vysvetlené.

300 Celá simulácia sa odvíja od počtu simulačných  
301 krokov, ktoré učujú ako podrobne bude každý pohyb  
302 objektu spracovaný. Čím viac simulačných krokov,  
303 tým podrobnejšie dáta získame, teda tým podrobnejší  
304 výsledok zobrazíme. Optimálny počet simulačných  
305 krokov našej simulácie bude 10000. Čo bude vo  
306 vzťahu s 10kHz, ktorá je odporúčaná frekvencia simulácie  
307 pre splnenie Nyquistovho teorému. V prípade menšieho  
308 počtu krokov by mohlo dôjsť k antialiasingu.

310 Samotná simulácia je tvorená spojeným všetkých  
311 menších celkov, ktoré boli doposiaľ v častiach Návrhu  
312 a Implementácie vysvetlené.

313 Celá simulácia sa odvíja od počtu simulačných  
314 krokov, ktoré učujú ako podrobne bude každý pohyb  
315 objektu spracovaný. Čím viac simulačných krokov,  
316 tým podrobnejšie dáta získame, teda tým podrobnejší  
317 výsledok zobrazíme. Optimálny počet simulačných  
318 krokov našej simulácie bude 10000. Čo bude vo

vzťahu s 10kHz, ktorá je odporúčaná frekvencia simulácie  
pre splnenie Nyquistovho teorému. V prípade menšieho  
počtu krokov by mohlo dôjsť k antialiasingu.

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 pohy-  
bujúci objekt nebude zrýchľovať ani spomaľovať.

V našom trojrozmernom prostredí nimi môže pohy-  
bovať 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 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 352
- výpočet horizontálneho a vertikálneho uhlov 353
- Čo vyústi k výpočtu strát signálu 354

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

- výpočet frekvencie prijatého signálu v Hz  $F_r$  357
- výpočet výkonu prijatého signálu vo W pomo- 358  
cou radarovej rovnice  $P_r$  359

Výsledkom tohto celého procesu iterácií bude dvo-  
jrozmerné 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

369 iterácií, ktorý generuje počiatočný signál v ktorom  
370 sa zakompunuje naša prijatá frekvencia  $F_r$  spolu s  
371 výkonom prijatého signálu  $P_r$ .  
372

$$\varphi_{d_t} = 2\pi * F_r * d_t \quad (3)$$

$$result(n) = sqrt(P_r)^{j(\varphi_1 + \varphi_{d_t})} \quad (4)$$

$$\varphi_1 = \varphi_1 + \varphi_{d_t} \quad (5)$$

373 **FFT**

## 374 **7. Záver**

375 V tejto práci sme sa venovali prezentácií projektu  
376 Simulátor šírenia radarového signálu. Kde sme si  
377 ukázali ako jednoducho a funkčne môžeme navrhnúť  
378 prostredie spolu s jeho časťami pre úspešné simulo-  
379 vanie funkčnosti radaru, ktoré sa blíži k reálnemu  
380 využitiu.

381 V budúcnosti plánujeme simulovať pomocou nášho  
382 softwaru reálne prostredie, kde sa následne porov-  
383 najú výsledky z meraní reálneho prostredia a nášho  
384 simulovaného. Veríme, že výsledky budú podobné až  
385 identické.

## 386 **PodĎakovanie**

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

## 390 **Literatúra**

- 391 [1] Christian Wolff. Radar tutorial. [Online; citované  
392 12.01.2017].
- 393 [2] Merrill Skolnik. *Radar Handbook*. New York :  
394 McGraw-Hill Professional, 2008.
- 395 [3] RFbeam. K-mc4 monopulse radar transceiver  
396 datasheet, Jan 2013. [Online; citované  
397 12.01.2017].