

Balistika vo vojenstve - PVO - ims projekt

Juraj Mariani(vedúci) - xmaria03

Lukáš Macejka - xmacej03

November 2022

1 Úvod

Kipat barzel, železná kupola alebo Iron dome. Tieto názvy pomenúvajú jedno a to isté a to jeden z najmodernejších a najpoužívanejších mobilných protivzdušných obranných systémov vo vojenstve. Jeho hlavným cieľom je zneškodnenie rakiet krátkeho doletu a mínometných granátov s dostrelom 70 km a jeho funkčnosť neovplyvňuje ani nepriaznivé počasie. Najväčšie využitie má tento systém v pásme Gazy. Tento balistický obranný systém náš tím natľko zaujal, že sme sa ho rozhodli simulovať.

2 Fakty

Iron dome sa skladá z troch základných komponentov[2]:

- Detekčný radarový systém
- Riadiace centrum
- Odpalovacia jednotka striel, obsahujúca raketové strely Tamir.

[3]. Jedna mobilná jednotka obsahuje 3 - 4 odpalovacie nádrže, pričom v každom sa nachádza 20 rakiet. Všetky rakety môžu byť odpálené súčasne, no keďže pri útoku musia hroziť stovkám rakiet, používajú sa viaceré jednotky naraz. Raketa dosahuje rýchlosť 850 m/s (3060 km/h) a do najviac 90 sekúnd zasiahne cieľ. Tento obranný systém ochraňuje ľudí na blízkom východe už vyše 10 rokov a stále je vyhlasovaný za jeden z najúspešnejších mobilných obranných systémov[1].

3 Konceptia simulácie

Na Izrael z pásma Gazy ovládanej teroristickými skupinami prilietavajú útočné rakety. Rakety vytvárané teroristami sú odpálené v rovnakom čase a miera na rôzne ciele. Pre obranu pred útokmi bol vyvinutý nový systém Iron dome. Tento obranný systém pozostáva z 3 častí. **Detektor** - systém radarov, ktorý dokáže odhaliť prichádzajúce projektily. Predpokladáme, že % pokrytie územia je ekvivaletné s % odhalených striel. Po odhalení strely sa v 2. časti - **Kontrolnom centre** vypočíta trajektória strely a určí sa, či mieri na obývané miesto, alebo na prázdnu plochu. Rakety smerujúce na neobývanú plochu sa nezostreľujú. O zvyšné rakety sa postarajú 3. časť systému - **odpaľovače rakiet**, ktoré zneškodnia nebezpečenstvo v podobe rakiet.

4 Architektúra simulácie

Program bol písaný v jazyku C++ za pomoci simulačnej knižnice SIMLIB/C++. Program je popísaný Petriho sieťou (sekcia 4.4) a prechody sú primárne založené na pravdepodobnostných hodnotách.

4.1 Preloženie a spustenie programu

Pre preloženie programu je potrebná knižnica SIMLIB/C++¹ ako aj programy GNU Make a g++ prekladač². Automatický preklad spôsobí zadanie príkazu `make` alebo `make all`.

Preklad zaistí vytvorenie štyroch súborov – `iron_dome_sim`, `iron_dome_sim_exp1` až `iron_dome_sim_exp3`.

Kde:

- `iron_dome_sim` – Test validity modelu
- `iron_dome_sim_expX` – Experimentálne scenáre

4.2 Obsiahnuté súbory

- `Missile.cpp`, `Missile.h` – Definícia správania nepriateľskej rakety
- `Hamas.cpp`, `Hamas.h` – Generátor nepriateľských rakiet
- `sim_specs.cpp`, `sim_specs.h` – Premenné simulácie
- `main.cpp` – Spúšťanie simulácie, inicializácia generátora rakiet, výpis štatistík

¹Dostupná pre stiahnutie zo stránky <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>

²testované na verzii GNU Make - 3.82, g++ - 9.5.0 (prostredie školského servera `merlin.fit.vutbr.cz`)

4.3 Nastavovanie testovacích hodnôt

Testovacie hodnoty simulácie sú obsiahnuté v štruktúrach `sim_specs`, `nonpercentageSpecs` a `percentageSpecs`.

V štruktúre `percentageSpecs` sa nachádzajú percentuálne premenné označujúce

- Pravdepodobnosť **zlého** navádzania nepriateľských rakiet [%]
- Spoľahlivosť detekcie projektilov [%]
- Spoľahlivosť výpočtu trajektórie [%]
- Úspešnosť zostrelenia rakety [%]

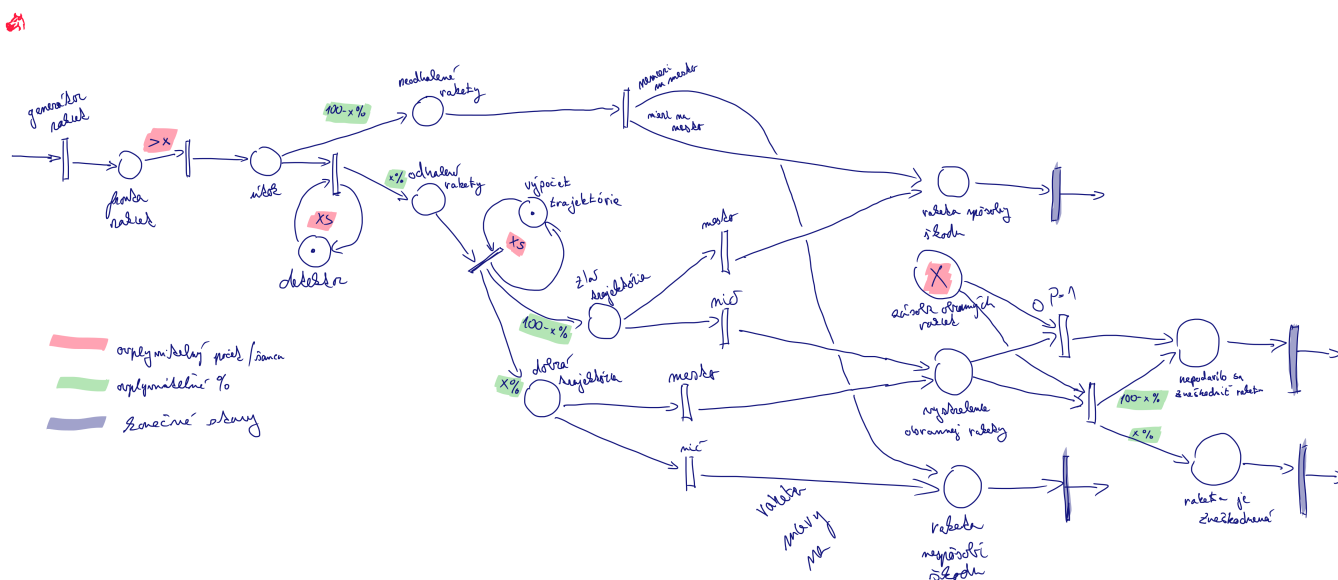
Štruktúra nonpercentageSpecs obsahuje

- Počet nepriateľských rakiet
- Počet obranných rakiet
- Doba detekcie rakety [s]
- Doba výpočtu trajektórie [s]

Hlavnou štruktúrou je štruktúra `sim_specs`, ktorá obsahuje

- Krátky popis simulácie
- Odkaz na vyplnenú štruktúru `nonpercentageSpecs`
- Odkaz na vyplnenú štruktúru `percentageSpecs`
- Odkaz na štruktúru `simOutput`³

4.4 Petriho sieť na vytvorenie správneho modelu



5 Priebeh simulácie a experimentmi

Cieľom simulácie bolo najprv overenie validity nášho modelu a potom pokračovať v experimentovaní s obmieňaním premenných s cieľom demonštrácie efektivity systému, poprípade nájsť možné limity a optimalizovať ich, či obmedziť obranné jednotky a sledovať ako systém funguje pri obmedzenom počte obrannej munície.

Každý experiment sme spúšťali 3x po sebe a výsledné hodnoty sme porovnávali a vložili do tabuľky. v každom experimente sme sa zameriavali hlavne na najvyššiu úspešnosť odolania útoku. Hodnoty, ktoré sme zpriemerovali sme zaokrúhlovali vždy nahor.

³Štruktúra sa nevypĺňa, hodnoty sú implicitne nastavené na hodnotu 0

5.1 Premenné hodnoty simulácie

- počet vypálených rakiet
- počet obranných rakiet
- % smeru rakiet na nedôležité územie
- % pokrytie územia radarom
- % správnosť výpočtu trajektórie
- % správneho zneškodnenia

5.2 Experiment č.1 - Validitný test

Náš prvý experiment mal za úlohu overiť validitu nášho modelu.

Pre toto overovanie sme použili dáta z útoku v auguste 2014[4], kde podľa údajov bolo teroristami vystrelených **4594** rakiet, a z toho len **70** zasiahlo cieľ. Podľa informácii bolo ohrozujúcich **735** rakiet, a tým pádom obranný systém neutralizoval vyše 90% rakiet.

Náš model sme simulovali 3x a jeho výsledky sme zpriemerovali, a porovnali zo skutočnými dátami.

Úspešnosť nášho modelu je porovnateľná s datami a tak môžeme povedať že náš model **je validný**.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	zpriemerované
počet vystrelených rakiet teroristami	4594	4594	4594	4594
počet rakiet na obranu (z toho vypustených)	1000 (331)	1000 (339)	1000 (393)	1000 (355)
počet rakiet smerujúcich na obývané oblasti	688	691	814	732
nezachytené rakety (z toho zasiahlo obývanú oblasť)	418 (58)	400 (61)	398 (73)	406 (64)
neutralizované rakety	621	619	730	657
zle detekované rakety(zbytočné výstrely / zasiahnutia cieľa)	82 (73 / 9)	79 (68 / 11)	91 (80/ 11)	84 (74 / 11)
rakety čo trafili cieľ	67	72	84	75

5.3 Experiment č.2 - nepriateľské rakety majú úspešnosť zásahu 100%

Z dát môžeme povedať že teroristické rakety majú úspešnosť zásahu okolo 15-16%. Tento experiment bude založený na tom, že zvýšime úspešnosť ich zásahu na 100% a budeme pozorovať ako sa obranný systém chová.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	zpriemerované
počet vystrelených rakiet teroristami	100	100	100	100
počet rakiet na obranu (z toho vypustených)	100 (79)	100 (88)	100 (91)	100 (86)
počet rakiet smerujúcich na obývané oblasti	100	100	100	100
nezachytené rakety (z toho zasiahlo obývanú oblasť)	13 (13)	6 (6)	7 (7)	9 (9)
neutralizované rakety	79	88	91	86
zle detekované rakety - zasiahnutia cieľa	8	6	2	6
rakety čo trafili cieľ	21	13	9	14

Z výsledkov experimentu môžeme vyvodiť, že aj pri 100% úspešnosti vystrelených rakiet je obranný systém natoľko bezpečný, že vie zabrániť väčšine striel a pri našom pokuse to bolo 86 striel zo 100 a stále je schopný priblížiť sa 90% úspešnosti.

5.4 Experiment č.3 - ako minimalizovať zasiahnutia rakiet

V tomto experimente sa chceme zamerať na dosiahnutie najefektívnejšieho použitia obranného systému, kde zdokonaľíme presnosť detekcie rakiet a výpočet ich dopadu.

Podľa dát môžeme zistiť, že pri zvýšení presnosti detektora môžeme docieľiť lepšiu úspešnosť obrannej jednotky a nepotrebujeme na elimináciu väčší počet jednotiek. Predpokladáme teda, že výskum, ktorý slúži na vylepšenie funkčnosti Iron dome je zameraný hlavne na vylepšenie jednotku detekcie rakiet(popri fakte že výroba obrannej rakety je 10 násobne drahšia ako teroristická). Update z roku 2022: "Podľa najnovších údajov dokonca systém disponuje 97% úspešnosťou".

	1. pokus	2. pokus	3. pokus	zpriemerované
počet vystrelených rakiet teroristami	100	100	100	100
počet rakiet na obranu (z toho vypustených)	20 (13)	20 (13)	20 (15)	20 (14)
počet rakiet smerujúcich na obývané oblasti	13	13	16	14
nezachytené rakety (z toho zasiahlo obývanú oblasť)	1 (0)	0 (0)	2 (1)	1 (1)
neutralizované rakety	13	13	15	14
zle detekované rakety - zasiahnutia cieľa	0	0	0	0
rakety čo trafili cieľ	0	0	1	1

5.5 Experiment č.4 - koľko maximálne rakiet vie eliminovať jedna obranná jednotka

Kedže vieme, že jedna obranná jednotka disponuje maximálne 80 raketami, tak sme týmto experimentom chceli zistiť koľko maximálne rakiet vie jednotka neutralizovať aby sme ostali pri 90% úspešnosti obrany.

Pri tomto pokuse sme si zvolili presný počet obranných rakiet a zvyšovali sme číslo teroristických rakiet, až sme došli ku hraničným hodnotám, ktoré sme zpriemerovali a vložili do tabuľky.

	1. pokus	2. pokus	3. pokus
počet vystrelených rakiet teroristami	1400	1500	1600
počet rakiet na obranu (z toho vypustených)	80 (80)	80 (80)	80 (80)
počet rakiet smerujúcich na obývané oblasti	194	217	232
neutralizované rakety	80	80	80
rakety čo trafili cieľ	132	153	173
percentá úspešnosti obrany	90.57%	89.8%	89.18%

Výsledky nám ukazujú jasne, a teda vieme povedať, že jedna jednotka vie eliminovať **maximálne 1500 striel**.

6 Záver

Po otestovaní validity nášho modelu sme vytvárali rôzne experimenty, pričom bolo vytvorených veľa možností, kde sme testovali napríklad nepresnosť obranných rakiet, či ideálnu funkčnosť systému za predpokladu že celý obranný systém funguje bezchybne, no experimenty, ktoré sme tu spísali sa nám zdali najzaujímavejšie. Náš model potvrdil, že obranný systém Iron dome, je účinný, a za súčasných podmienok vie odolať teroristickým útom bez väčších ťažkostí. Taktiež sa nám podarilo dokázať, že na oblasť nie je potrebné veľké množstvo jednotiek vďaka ich vysokej účinnosti a jedna jednotka vie zabrániť útoku obsahujúcemu až 1500 rakiet.

7 Literatúra

Referencie

- [1] Globes. *Iron Dome intercepts 90% of Gaza rockets*. online. URL: <https://en.globes.co.il/en/article-iron-dome-intercepts-90-of-gaza-rockets-1001370966>.
- [2] Wall Street Journal. *How Israel's Iron Dome Works / WSJ*. online. URL: https://www.youtube.com/watch?v=_eSZaCHXBVA.
- [3] Deutsche Welle. *Israel's Iron Dome proves successful*. online. URL: <https://www.timesofisrael.com/580-rockets-fired-from-gaza-since-friday-iron-dome-at-97-success-rate/>.
- [4] Wikipedia. *Iron Dome*. online. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Iron_Dome.