

Aritmetika roje

MACIEJ M. KASPEREK

Časový rozpočet počítaný pro jeden dron je nejjednodušší případ. Když drony přilétají jeden po druhém, každý další najde obranu ještě zaměstnanou předchozím. Tento text počítá, kolik z deseti dronů stihne jedno stanoviště zasáhnout včas v závislosti na odstupech, době zásahu a roli člověka.

Předchozí analýzy počítaly čas pro jeden cíl, a skutečné útoky tak vypadají zřídka. Když je dronů několik nebo desítky, o výsledku rozhoduje součet časů, nikoli čas jednoho zásahu. Tento text ukazuje, jak rychle tento součet přeroste možnosti jednoho stanoviště obrany.

TŘI ÚTOKY, TŘI MĚŘÍTKA

Podle ruského ministerstva obrany zaútočilo v noci z 5. na 6. ledna 2018 na ruské základny Hmímím a Tartús v Sýrii 13 jednoduchých dronů. Deset letělo na leteckou základnu, tři na přístav. Rusové uvedli, že sedm sestřelili a šest převzali prostředky elektronického boje.

Podle saúdského ministerstva obrany zasáhlo v září 2019 závod na zpracování ropy v Abkajku v Saúdské Arábii 18 dronů. Při stejném úderu bylo použito sedm střel s plochou dráhou letu, z nichž čtyři zasáhly ropné pole Churajs. Útok na čas zastavil zhruba polovinu saúdské těžby.

V noci z 9. na 10. září 2025 zaznamenalo Polsko 19 narušení svého vzdušného prostoru drony, zhruba od 23.30 do 6.30. Sestřelení tří bylo potvrzeno a podle premiéra byl pravděpodobně sestřelen i čtvrtý. V průměru to je jedno narušení za více než dvacet minut, nešlo však o útok na jeden objekt.

Přesné odstupy mezi drony při prvních dvou útocích nebyly zveřejněny. Ví se jen, že koordinovaný úder na jeden objekt je zkracuje na sekundy nebo na nulu. Právě tento případ text počítá.

MODEL

Deset dronů střední rychlosti, 21 metrů za sekundu, je detekováno v rovnoměrných odstupech, každý na stejnou vzdálenost. Každý nejprve projde technickými články modelu, tedy detekcí, klasifikací a automatickým ověřením, zda je let povolen. Dále model počítá tři varianty. Ve variantě A rozhoduje člověk ve smyčce o dronech postupně, jeden po druhém, a předává rozkaz střelci. Ve variantě B běží rozhodnutí souběžně, jako by každý dron měl vlastního rozhodujícího. Ve variantě C je člověk nad smyčkou a systém zasáhne každý dron, pokud do deseti sekund nepřijde veto.

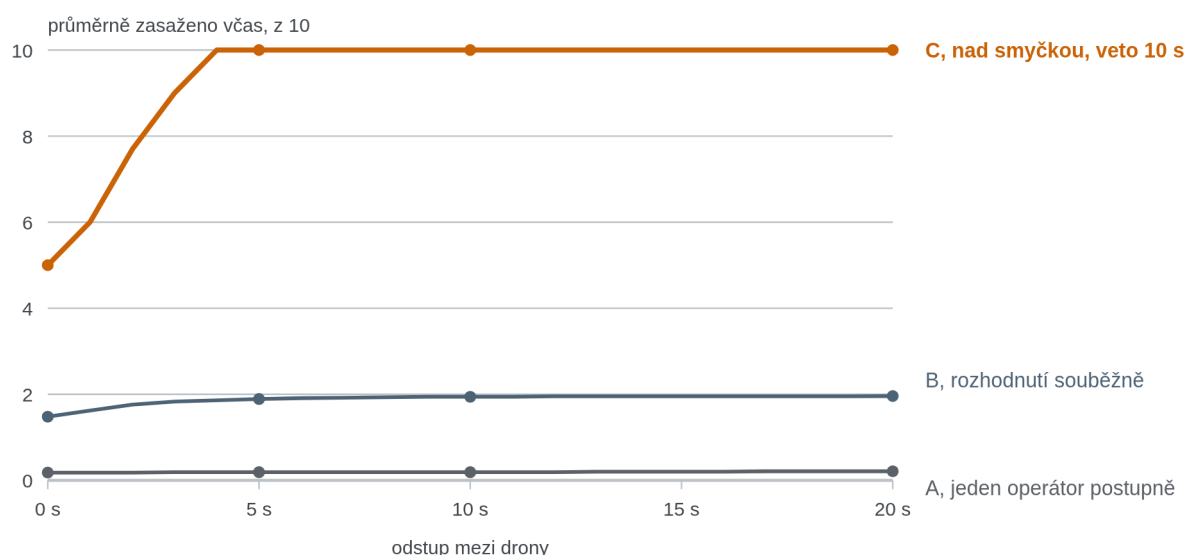
Stanoviště má jeden efektor, který zasahuje drony jednotlivě. Doba, po kterou efektor zaměstná jeden dron, je ilustrativně 3, 6 nebo 12 sekund. Efektor se nejprve věnuje dronu, kterému zbývá nejméně času, a vynechá ten, který už včas zasáhnout nestihne.

ČLOVĚK, NEBO EFEKTOR

První tabulka ukazuje, kolik z deseti dronů detekovaných na jeden kilometr stanoviště zasáhne včas, když efektor potřebuje šest sekund na dron.

Odstup mezi drony	A, jeden operátor postupně	B, rozhodnutí souběžně	C, nad smyčkou, veto 10 s
0 s	0,2	1,5	5,0
5 s	0,2	1,9	10,0
10 s	0,2	1,9	10,0
20 s	0,2	2,0	10,0

Průměrný počet dronů zasažených včas, z deseti. Ilustrativní model, 4000 losování na každou buňku při pevném náhodném semínku.



Deset dronů detekovaných na jeden kilometr, efektor 6 sekund na dron. Průměrný počet dronů zasažených včas podle odstupu mezi nimi pro tři role člověka. Ilustrativní model.

S člověkem ve smyčce a detekcí na jeden kilometr nestihne stanoviště téměř nic, bez ohledu na obsazení. I souběžná rozhodnutí dávají nejvýš dva drony, zatímco s člověkem nad smyčkou se obraz obrací. Při deseti dronech najednou zasáhne stanoviště polovinu a při odstupech po pěti sekundách všechny. Úzké hrdlo se přesouvá z člověka na efektor.

KOLIK VÁŽÍ SEKUNDA EFEKTORU

Druhá tabulka se týká varianty C a deseti dronů najednou. Mění dobu efektoru a vzdálenost detekce.

Doba efektoru na dron	Detekce na 2 km	Detekce na 1 km	Detekce na 500 m
3 s	10,0	10,0	2,0
6 s	10,0	5,0	1,0
12 s	6,0	2,0	0,0

Varianta C, deset dronů najednou, průměrný počet dronů zasažených včas, z deseti.

Když člověk postup nebrzdí, závisí počet zasažených dronů téměř výhradně na dvou věcech. Je to doba, kterou efektor stráví na jednom cíli, a čas, který zbývá po detekci. Jakmile je efektor úzkým hrdlem, každé zdvojnásobení doby zásahu sníží počet obslužených dronů o polovinu nebo víc. Při detekci na 500 metrů obslouží i nejrychlejší ze tří efektorů jen dva.

ROJ JAKO STLAČENÝ ČAS

Roj není jen počet cílů. Je to tentýž časový rozpočet rozdělený mezi mnoho cílů najednou. V roli s člověkem ve smyčce ho rozděluje člověk, a proto chybí už u prvních cílů. V roli s člověkem nad smyčkou ho rozděluje efektor, a proto se počítá každá sekunda zásahu. Obě role mají společného jmenovatele, vzdálenost detekce, protože ta určuje celý čas k rozdělení.

CO MODEL NEZAHHRNUJE

Model má jeden efektor a předpokládá, že každý výstřel zasáhne. Více efektorů nebo minutí by změnily výsledek opačnými směry. Ve variantě C také nepočítá s tím, zda jeden člověk dokáže sledovat deset oken pro veto najednou. Nikdo to nezměřil a při deseti cílech je to sporné. Doby efektoru jsou ilustrativní hodnoty, nikoli data žádného skutečného systému.

Kód modelu a vstupní data (ZIP, Python)

Prohlášení o střetu zájmů. Autor je zakladatelem týmu Silesian Advanced Systems, který vyvíjí autonomní protidronový systém a chystá založení společnosti. Systém má pracovat v roli, kterou tento text nazývá dozorem nad smyčkou. Autor má proto na tomto tématu přímý zájem. Model, kód i úplná mřížka výsledků jsou zveřejněny, aby se úvaha dala nezávisle ověřit.

ZDROJE

1. CBC News a Reuters. 2025. „Poland Shoots Down at Least 3 Russian Drones in Its Airspace.“ 10. září. <https://www.cbc.ca/news/world/poland-drones-shot-down-1.7629795>
2. CNBC. 2018. „Russia Says It Killed Rebels behind Swarm Drone Attack in Syria, but Experts See More Such Strikes Ahead.“ 12. ledna. <https://www.cnbc.com/2018/01/12/russia-says-it-eliminated-rebels-behind-swarm-drone-attack-in-syria.html>
3. Defense Update. 2019. „Attack on Saudi Oil Refineries Proves the Devastating Potential of Iranian Cruise Missiles.“ 20. září. https://defense-update.com/20190914_aramco_attack.html
4. DFRLab. 2018. „#PutinAtWar. Drone Attack at Khmeimim.“ Medium, 22. ledna. <https://medium.com/dfrlab/putin-atwar-drone-attack-at-khmeimim-3000f31b72a3>
5. NBC News. 2025. „Poland Says It Shot Down Russian Drones That Violated Its Airspace during Attack on Ukraine.“ 10. září. <https://www.nbcnews.com/world/europe/poland-engages-russian-drones-airspace-first-time-rcna230251>

6. Radio Free Europe/Radio Liberty. 2018. „Russia Says 13 Drones Used in Attack on Its Air Base, Naval Facility in Syria.“ 8. ledna. <https://www.rferl.org/a/syria-russia-says-drones-used-attack-bases/28963399.html>
7. The War Zone. 2019. „Here's All the New Info You Need to Know in the Aftermath of the Saudi Oil Facilities Attacks.“ 19. září. <https://www.twz.com/29918/heres-all-the-new-info-you-need-to-know-in-the-aftermath-of-the-saudi-oil-facilities-attacks>
8. UN News. 2025. „UN Warns of Escalation Risk after Large-Scale Russian Drone Incursion into Poland.“ 12. září. <https://news.un.org/en/story/2025/09/1165838>

Verze pro tisk, aktuální verze online: <https://silesianadvanced.systems/analyses/swarm/?lang=cs>