

VYSOKÉ UČENÍ TECHNIKCE V BRNĚ
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Modelování a simulace
Simulácia prepravy za pomocou dronov

Peter Havan (xhavan00)
Jiří Furda (xfurda00)

9. prosince 2018

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autori a zdroje	2
1.2	Validita modelu	2
2	Rozbor témy a použitých technológií	3
2.1	Popis použitých postupov	3
2.2	Pôvod použitých metód	3
3	Koncepcia	4
4	Architektúra simulačného modelu/simulátoru	5
4.1	Mapovanie abstraktného modelu do simulačného	5
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	5
5.1	Postup experimentov	6
5.2	Postup experimentov	6
5.2.1	Experiment 1	6
5.2.2	Experiment 2	6
5.2.3	Experiment 3	7
5.2.4	Experiment 4	7
5.3	Závery experimentov	8
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	8

1 Úvod

Tento projekt rieši implementáciu simulačného modelu([1], slajd 7.) donášky tovaru za pomoci dronov. V súčasnosti je veľká snaha najväčších doručovacích spoločností implementovať tento spôsob doručovania, menovite napríklad Amazon či UPS[2]. Účelom nášho projektu je zistiť efektívnosť doručovania tovaru za pomoci dronov, overiť schopnosť doručovať zásielky včas (podľa Amazonu do 30 minút[3]) aj pre kritické počty objednávok s určitým počtom dronov. Zaujímavosťou, ale aj veľkou prekážkou je fakt, že tento systém([1], slajd 18.) je ešte stále vo fázi vývoja a aktuálne nie je v prevádzke. Z toho dôvodu boli nutné hypotézy na zatiaľ neznáme aspekty založené na klasickom spôsobe doručovania tovaru.

1.1 Autori a zdroje

Autormi projektu sú Jiří Furda a Peter Havan. Medzi hlavné zdroje patrili štatistiky uverejnené spoločnosťou Amazon, znalosti získané v predmete Modelování a simulace vyučovanom na fakulte Informačních Technologií, VUT v Brně, dokumentácia a exampley k C++ knižnici SIMLIB([1], slajd 119.), technické špecifikácie k hardwaru relevantného pre náš model, technické správy zaoberajúce sa príbuznou tematikou.

1.2 Validita modelu

Keďže je dronová donášková služba vo vývoji a reálnom svete nie je v plnej prevádzke, nemohol byť model porovnávaný so systémom v praxi. Model je postavený na verejne dostupných informáciach vydaných spoločnosťou Amazon a reflektuje ich aktuálny plán systému dopravy tovaru. Tento systém je však vo vývoji od roku 2013[3]. To znamená, že výsledný systém sa môže výrazne líšiť od plánu, na ktorom je náš model postavený. Validita([1], slajd 37.) by bez dodatočných úprav bola kompromitovaná. Predpokladáme však, že informácie dostupné na internete sú získané praktickým testovaním a odpovedajú reálnej situácii, keďže testovanie v teréne bolo poprvýkrát uskutočnené už roku 2016[3] a spoločnosť Amazon vkladá nemalé úsilie do vývoja[2]. Náš model sme prehlásili za validný pre plán systému, ktorý je dostupný verejnosti.

2 Rozbor témy a použitých technológií

Podľa plánu spoločnosti Amazon by ich program s názvom Amazon Air Prime mal byť schopný doručovať zásielky v okruhu 16 km od pobočky do 30 minút od zadania objednávky. Drony majú batériu s výdržou 30 minút pri lete s maximálnou rýchlosťou 80.5 km/h a maximálnym dosahom 16 km. Optimálna hmotnosť zásielky je stanovená na 2.3 kg[4]. Pri tejto rýchlosti by cesta doručenia a návratu nikdy nemala presiahnuť čas výdrže batérie. Dĺžka nabíjania batérie z vybitého stavu na plno nabitý je 2 hodiny.[5]

Frame Size(<i>cm</i>)	115
Rotor Size(<i>cm</i>)	43
UAV Weight(<i>kg</i>)	3.8
BLDC Motors	8
Flight Time(<i>min</i>)	30
Top Speed(<i>kph</i>)	80.5
Range(<i>km</i>)	16
Motor RPM(<i>rpm</i>)	10,000
Package Weight(<i>kg</i>)	2.3
Max. Payload(<i>kg</i>)	14
Flight Altitude(<i>m</i>)	< 150(Class G Airspace)
Battery Pack	LiPo 10S, 37 V, 10,000 mAh, 1.7 kg

Obrázok 1: Špecifikácia ideálneho dronu pre Amazon[4]

Jeff Bezos, riaditeľ firmy Amazon, v rozhovore uviedol, že by drony mohli doručovať balíky do hmotnosti až 2.27 kg v okruhu 16km za predpokladu denného svitu a priaznivého počasia.[6]

2.1 Popis použitých postupov

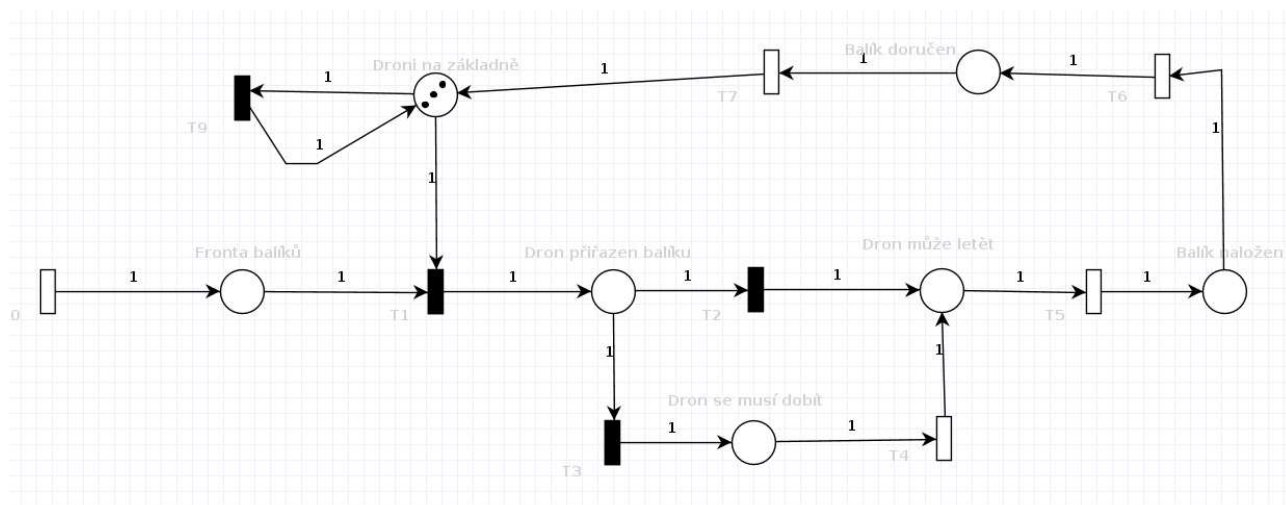
Model bol implementovaný v programovacom jazyku C++ najmä z dôvodu existencie jeho knižnice SIMLIB, ktorá poskytuje prostriedky na jednoduchú implementáciu simulačného modelu vhodného pre naše potreby.

2.2 Pôvod použitých metód

Použité metódy pochádzajú z informácií poskytnutých v predmete Modelování a simulace na FIT VUT v Brne. Pri návrhu bola využitá Petriho sieť([1], slajd 123.) a pri implementácii knižnica SIMLIB, jej dokumentácia a ukážkové príklady z dokumentácie.

3 Konceptia

Simulujeme([1], slajd 33.) príchod objednávok do systému, ich vybavenie, doručenie tovaru. Veľmi dôležitým prvkom je sledovanie batérie jednotlivých dronov. Obmedzený dolet a potreba nabíjania sú hlavnou prekážkou, mimo problémov s legislatívou, ktorú dronové doručovanie musí zohľadniť. Pri modelovaní sme nezohľadnili ľudský element, pretože žiadne dostupné zdroje naň nepoukazujú ako na významný. Ďalej sme zanedbali poruchovosť dronov, pretože tá by sa ukázala až pri reálnom stres teste po spustení systému. Fakt, že v nočných hodinách, poprípadne za nepriaznivého počasia drony nesú schopné balíky doručovať je pre náš model irelevantný. Simulujeme situáciu počas jedného dňa za dobrého počasia a neriešime alternatívy, ktoré by v týchto prípadoch museli byť využité.



Obrázok 2: Petriho sieť pre zjednodušený model

Na obrázku 2 môžeme vidieť:

- Prechod 0 vstupujúca transakcia (objednávka) do systému
- Prechod T1 reprezentujúci **zjednodušené** priradenie dronu bližšie popísané v sekcii 4
- Prechod T2 reprezentujúci fakt, že priradený dron má dostatok batérie, aby balíček doručil
- Prechod T3 reprezentujúci fakt, že priradený dron nemá dostatok batérie, aby balíček doručil
- Prechod T4 reprezentujúci dobíjanie dronu na minimálnu úroveň batérie pre doručenie balíčku a cesty späť
- Prechod T5 reprezentujúci nakladenie balíčku
- Prechod T6 reprezentujúci doručovanie balíčku
- Prechod T7 reprezentujúci návrat drona
- Prechod T9 reprezentujúci **zjednodušené** nabíjanie dronu bližšie popísané v sekcii 4

4 Architektúra simulačného modelu/simulátóru

Pre účely projektu bol využitý programovací jazyk C++ a jeho knižnica SIMLIB. Do programu vstupujú objednávky generované triedou `PackageGenerator`, ktorá je podtriedou abstraktnej triedy `Event` knižnice SIMLIB. Objednávky postupne obsadzujú drony (trieda `Drone`), ktoré následne tovar doručia. Dron sa po doručení vracia naspäť. Po vrátení začne proces nabíjania batérie dronu. Priorita výberu drona pre balíček však hovorí, že bude vybraný dron s minimálnou aktuálnou výdržou batérie, ktorý má zároveň dostatok energie na to, aby balík úspešne doručil a vrátil sa späť. Toto opatrenie zvýši šancu, že na sklade bude dostupný dron pre maximálne vzdialenosti. V prípade, že príde objednávka a nenájde žiaden voľný dron, radí sa fronty a čaká na uvoľnenie ďalšieho drona. Fronta je spoločná pre všetky drony.

4.1 Mapovanie abstraktného modelu do simulačného

Na obrázku 2 je zobrazený zjednodušený konceptuálny model([1], slajd 48.). Jeho mapovanie na simulačný model je nasledovné:

- Trieda `Drone`, podtrieda SIMLIB triedy `Facility`, ktorá zastupuje tokeny z miesta *Droni na základňe*. Obsahuje:
 - metódu `charge`, zastupujúcu prechod T9
 - metódu `chargeforFlight`, zastupujúcu prechod T4
 - metódu `travel`, zastupujúcu prechod T6
 - metódu `findOptimal`, zastupujúcu prechod T1
 - atribúty zastupujúce vlastnosti jednotlivých dronov pre chod simulácie, napríklad aktuálny stav batérie, a údaje pre štatistiku
- Trieda `Package`, podtrieda SIMLIB triedy `Process`, ktorá zastupuje prechod 0, tzn. generované objednávky a ich cestu systémom
- Trieda `DroneReturning`, podtrieda SIMLIB triedy `Process`
- Trieda `PackageGenerator`, podtrieda SIMLIB triedy `Event`
- Trieda `PackagesQueue`, podtrieda SIMLIB triedy `Queue`

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom experimentálnej činnosti bolo zistiť efektivitu donášky dronmi. Zamerali sme sa na percentuálnu úspešnosť schopnosti doručiť zásielku do 30 minút. Premennými pri experimentovaní bol počet dronov a počet vygenerovaných objednávok resp. s akým intervalom sa má objednávka generovať. Ďalšími kritériami pri hodnotení efektivity bol čas, ktoré drony strávili nečinnosťou, tzv. v stave `idle`.

5.1 Postup experimentov

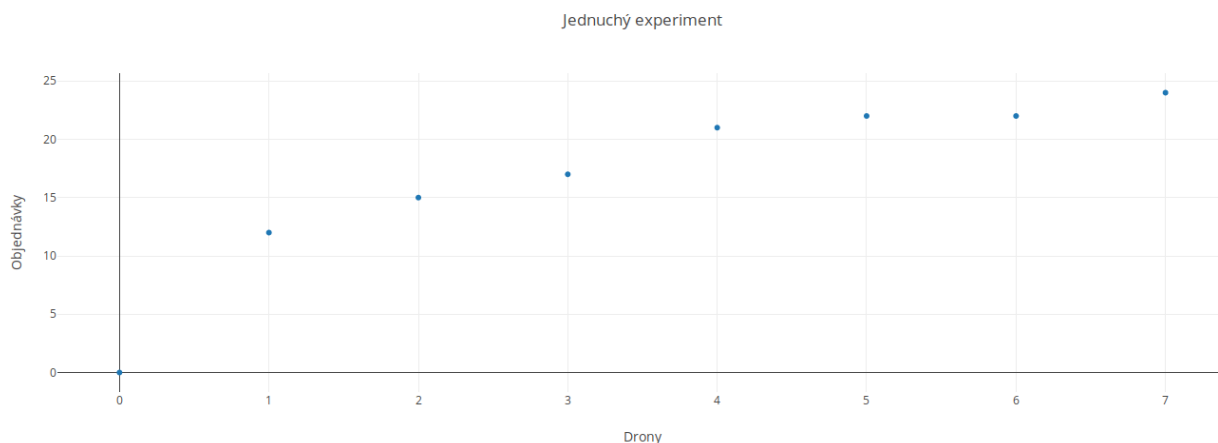
Pozorujeme výstupy simulácie pre oblasti s rôznou hustotou populácie. Snažíme sa nájsť najvhodnejší počet dronov pre každú oblasť, tzn. počet dronov, ktorý je dostačujúci na doručenie všetkých zásielok pod 30 minút, pričom však nie je dronov príliš mnoho, čo by značilo ich neefektívne využitie.

5.2 Postup experimentov

V tejto sekcii sa pozrieme na jednotlivé konkrétne experimenty.

5.2.1 Experiment 1

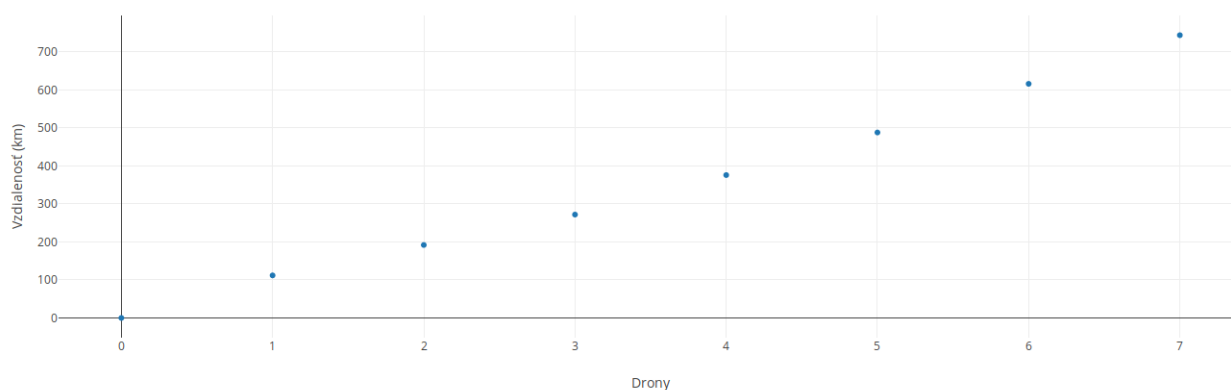
V prvom experimente sme sa pozreli na vzťah počtu dronov s počtom objednávok. Došli k zpochybneniu našej hypotézy o závislosti počtu objednávok a počtu dronov na úspešnosti. Z obrázku 3 je vidieť, že pridanie dronu pri nie vždy spôsobí zvýšenie počtu objednávok, ktoré je systém schopný doručiť včas. V ďalšom experimente zmeníme pozorované kritérium.



Obrázok 3: Experiment 1

5.2.2 Experiment 2

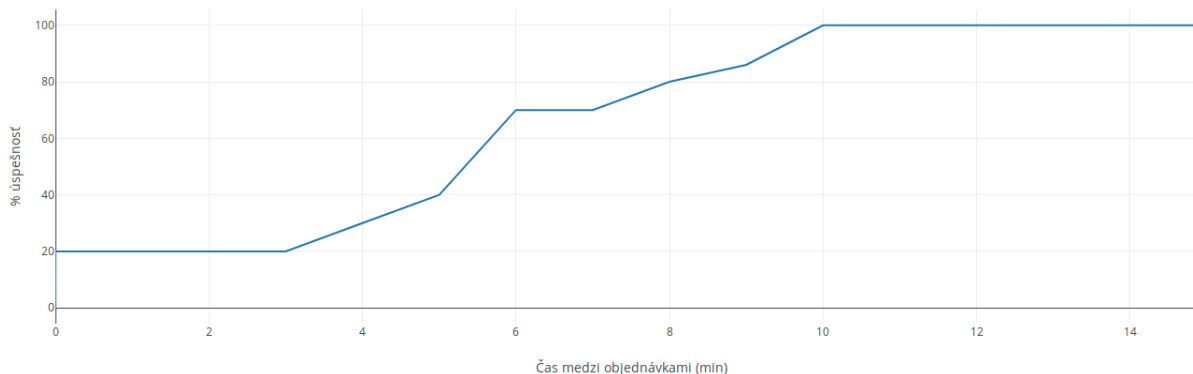
V experimente 1 sme zistili podozrenie na chybné určité dôležitých hodnôt. V druhom experimente sledujeme namiesto vzťahu počtu dronov s počtom objednávok závislosť počtu dronov so súčtom vzdialenosti všetkých objednávok. Na obrázku 4 môžeme vidieť túto závislosť. Pre spresnenie pozorovaného javu sme nastavili priemernú vzdialenosť donášky na 8000 m.



Obrázok 4: Experiment 2

5.2.3 Experiment 3

Pri druhom experimente sa zistilo, že veľký vplyv na výsledok má prvok náhody pri generovaní vzdialenosti zásielky a najmä prvok náhody pri generovaní jednotlivých objednávok (čas medzi objednávkami). Aj v prípade rovnakého počtu dronov a objednávok. Výsledok môžeme vidieť na obrázku 5. Simulácia prebiehala s priemernou vzdialenosťou objednávok 8000 m s piatimi dronmi. Ako môžeme vidieť, so znižujúcim časom medzi príchodmi objednávok klesá úspešnosť doručovať zásielky včas, avšak vždy bude včas doručených minimálne toľko zásielok, koľko máme dronov.



Obrázok 5: Experiment 3

V prvých troch experimentoch sme ukázali závislosť jednotlivých hodnôt na úspešnosť. V reálnom systéme však vystupuje prvok náhody pri čase a vzdialenosti objednávok.

5.2.4 Experiment 4

Testujeme kritické hodnoty za pomoci funkcií `Random()` a `Exponential()` knižnice `SIMLIB`. Predpokladáme vysokú hustotu obyvateľstva a kritické obdobie pred Vianocami. Malá časť dňa s denným svetlom a krátka otváracia doba v kombinácii s rapídny nárastom objednávok nám ukáže, ako tento systém zvláda kritické situácie. Generovali sme objednávky s exponenciálnym

rozdelení 1 min po dobu 299 minút. Po tomto čase sa objednávky uzavreli a ostala nám 180 minútová rezerva na doručenie zásielok. Vzdialenosť bola náhodná v intervale $(0, 1)$. Celkom bolo prijatých 598 objednávok. V experimente sme zistili, že pre tieto vstupy by bolo potrebných 144 dronov pre 100% úspešnosť. Samozrejme sa toto číslo môže meniť, pretože je závislé na pseudo-náhodných číslach, generovaných funkciami knižnice **SIMLIB**([1], slajd 167.).

5.3 Závery experimentov

Boli prevedené 4 zdokumentované experimenty. V ich priebehu sme určili sme odstránili chybnú hypotézu o dôležitosti počtu dronov na úspešnosť včasnej donášky. Pochopiteľne je počet dronov dôležitý, nie však tak dôležitý ako hustota príchodu objednávok. Dodatočné experimenty neprinesú ďalšie poznatky, pretože v modeli figurujú nepredvídateľné premenné, ktorých hodnoty sa ukážu až pri meraní na systémy v prevádzke.

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

V rámci projektu vznikol nástroj na simuláciu systému dovozu tovaru dronmi implementovaný v jazyku **C++** za využitia jeho knižnice **SIMLIB**. Výsledky experimentov ukázali, že plánovaný systém spoločnosti Amazon nie je vhodný pre masovú škálu zákazníkov. Sľub donášať tovar do 30 minút s popísaným typom drona je možný, pri väčšej hustote objednávok však nároky na počet dronov rapídne stúpajú.

Reference

- [1] PERINGER, P. a HRUBÝ, M. *Modelování a simulace*. November 2018. Dostupné na: <<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS-4.pdf>>.
- [2] DESJARDINS, J. *Amazon and UPS are betting big on drone delivery*. Marec 2018. Dostupné na: < <https://www.businessinsider.com/amazon-and-ups-are-betting-big-on-drone-delivery-2018-3>>.
- [3] *Amazon Prime Air*.
- [4] JUNG, S. a KIM, H. *Analysis of Amazon Prime Air UAV Delivery Service*. Február 2017. Dostupné na: < https://www.researchgate.net/publication/317389269_Analysis_of_Amazon_Prime_Air_UAV_Delivery_Service>.
- [5] *Alien Power Pack 10S 10000mah*. Navštívené: 8-12-2018. Dostupné na: < <https://alienpowersystem.com/shop/alien-power-pack/alien-power-pack-10s-10000mah/>>.
- [6] HERN, A. *Amazon claims first successful Prime Air drone delivery*. December 2016. Dostupné na: < <https://www.theguardian.com/technology/2016/dec/14/amazon-claims-first-successful-prime-air-drone-delivery>>.
- [7] PERINGER, P. *SIMulation LIBrary for C++*. 1991. Posledná úprava: 19. Októbra 2018. Dostupné na: <<https://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB/>>.
- [8] *Population density (people per sq. km of land area)*. Dostupné na: < https://data.worldbank.org/indicator/EN.POP.DNST?end=2017&start=2017&type=points&view=map&year_high_desc=true>.