



Vysoké učení technické v Brně

Fakulta informačních technologií

Téma č. 9: Diskrétní model z oblasti služeb a dopravy

Autoři:

Daniel Čechák (xcecha06)

Daniel Pátek (xpatek08)

Obsah

Úvod	3
Autoři a zdroje	3
Validita modelu	3
Rozbor tématu, použitých metod a technologií	4
Popis použitých postupů	4
Popis původu použitých metod	4
Koncepce modelu	4
Způsob vyjádření konceptuálního modelu	4
Formy konceptuálního modelu	5
Architektura simulačního modelu/simulátoru	5
Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	5
Závěr	5
Zdroje	5

1. Úvod

V současnosti pozorujeme snahu několika technologických gigantů o vytvoření a zprovoznění systému, který bude moci s pomocí dronů rychle a efektivně doručovat zboží zákazníkovi [\[1\]](#). Tento projekt se zabývá analýzou a tvorbou simulačního modelu dodání zboží s pomocí dronů. Jeho účelem je zjistit jaká je výše efektivnosti různých společností, jaký počet dronů je potřeba pro plně funkční systém a zda se jedná opravdu o takto revoluční řešení doručování zásilek. A teprve v budoucnosti se ukáže, zda použití tohoto systému má reálné využití a zda je vůbec možné takový systém vytvořit a zprovoznit.

1.1 Autoři a zdroje

Autory tohoto projektu jsou Daniel Čechák a Daniel Pátek, studenti 3. ročníku Fakulty informačních technologií Vysokého učení technického v Brně. Tento projekt byl vypracován v rámci předmětu Modelování a simulace [\[2\]](#).

Při vytváření tohoto projektu jsme čerpali z dostupných materiálů poskytnutých společnostmi zabývajícími se tímto doručovacím systémem. Dále také z výročních zpráv České pošty a stránek zprostředkovatelů zásilkových služeb v ČR. Významným zdrojem informací k řešení tohoto projektu byly slajdy přednášek předmětu IMS [\[5\]](#).

1.2 Validita modelu

Tento doručovací systém (až na výjimky [\[3\]](#)) není zatím implementován jako plnohodnotný systém pro doručení zásilek. Většina firem zabývajících touto technologií je v procesu vývoje a testování. Proto mnoho diskuzí a odhadů je založeno na hypotézách. Pro validitu tohoto modelu předpokládáme, že informace získané z internetu jsou pravdivé a výsledkem testování reálného doručovacího systému.

2. Rozbor tématu, použitých metod a technologií

Doručovací dron je autonomní bezpilotní vzdušný prostředek používaný k přepravě balíků, zdravotnických potřeb, potravin nebo jiného zboží. V listopadu 2020 navrhla FAA kritéria letové způsobilosti pro typovou certifikaci dodávacích dronů se záměrem zahájit komerční provoz. Zipline, Wingcopter a Amazon Prime Air patří mezi 10 společností, které získaly tento typ certifikace [\[4\]](#).

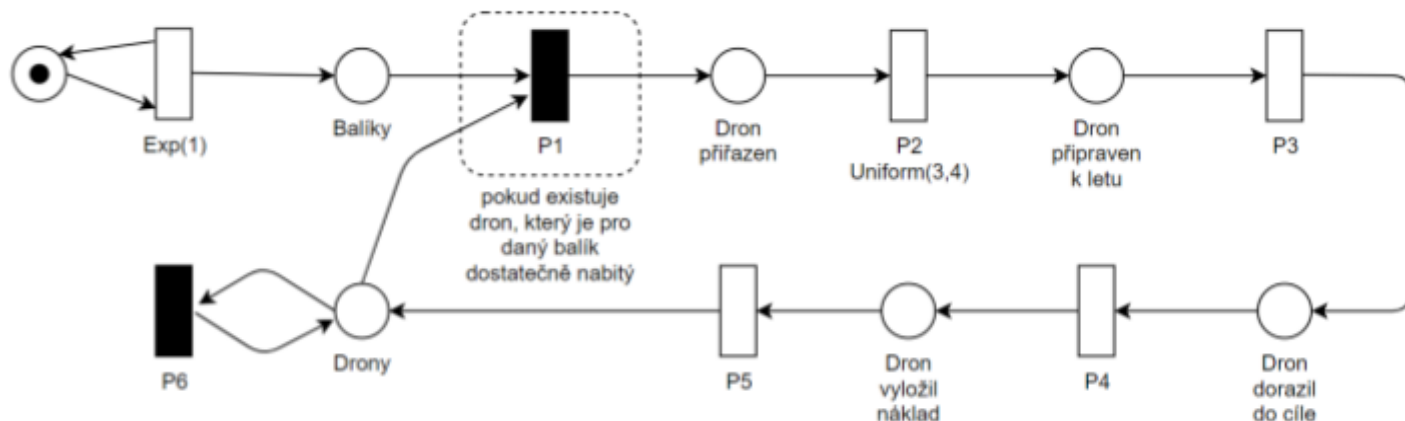
2.1 Popis použitých postupů

Jako implementační jazyk jsme použili C++ a to pro existenci rozšiřující knihovny SIMLIB [\[6\]](#), která nabízí prostředky pro zjednodušení implementace simulačního modelu. Pro grafickou reprezentaci modelu jsme využili Petriho síť. Petriho síť graficky reprezentuje strukturu distribuovaného systému jako orientovaný bipartitní graf s ohodnocením [\[7\]](#).

2.2 Popis původu použitých metod

K těmto metodám a technologiím jsme byli směřováni pomocí předmětu Modelování a simulace na Fakultě informačních technologií Vysokého učení technického v Brně [\[5\]](#). Vyučování nás připravilo na využití těchto metod a technologií pro zpracování tohoto projektu. Zpracování programu pomocí jazyka C++ jsme byli schopni díky předchozímu studiu a využití knihovny SIMLIB s pomocí příkladů z výuky předmětu Modelování a simulace a také knihovny SIMLIB [\[6\]](#).

3. Koncepce modelu



Obrázek 1 - Petriho síť projektového modelu

P1 - Přiřazení balíku k dronu, který je dostatečně nabitý na to, aby mohl uskutečnit jeho doručení

P2 - Řazení balíku a jeho náklad do dronu

P3 - Let dronu k místu doručení

P4 - Vykládka dronu

P5 - Let dronu zpět do centrály

P6 - Nabíjení dronu

Do systému generujeme jednotlivé balíky a simulujeme jejich doručování. Model uvažuje několik důležitých prvků, patří mezi ně vzdálenost místa doručení balíku, rychlost letu dronu, rychlost nabíjení dronu a taky počet samotných dronů. Vzhledem k tomu, že jsme se rozhodli porovnat více společností, které tuto službu nabízejí, a každá vyvíjí jiný dron s jinými vlastnostmi, rozhodli jsme se, že se zaměříme především na kapacitu jejich baterky (jinými slovy doletovou vzdálenost), rychlost letu a jejich počet. Simulujeme situaci jednoho dne, kdy drony létají pouze za slunečního světla a nefouká vítr. Vzdálenosti od centrály k adresátům jsou vybrány pomocí generátoru pseudonáhodných čísel [5] vždy do 10 kilometrů. Zanedbali jsme poruchovost dronů a počítáme s tím, že dron bude mít vždycky místo, kde vyloží balík, a vždy použije nejkratší možnou vzdušnou vzdálenost.

4. Architektura simulačního modelu/simulátoru

Do systému vstupují jednotlivé balíky generované třídou `PackageGenerator`. Tato třída dědí z třídy knihovny `SIMLIB Event`. Samotný balík dědí z třídy `Process`. Dále se v systému vyskytují drony, které jsou implementovány jako potomci třídy `Facility`. Přiřazení balíku k dronu a jeho následné doručení může proběhnout pouze v případě, že existuje dron, který je na centrále a má dostatečné množství baterie na to, aby zvládl cestu tam i zpět. V opačném případě balík zůstává bez přiřazeného dronu a periodicky se ptá, zda už je některý z dronů dostatečně nabitý. Toto řešení umožňuje významně zvýšit množství doručených balíčků a taky průměrný čas na doručení, jelikož zde neexistuje pevně daná fronta a dron nemusí strávit nabíjením zbytečně dlouhou dobu.

Abstraktní model na [obrázku 1](#) je možné namapovat na simulační model následovně:

P1 - metoda `findChargedDrone()` třídy `Drone` a metoda `assignDrone()` třídy `Package`

P3, P4 - metoda `Behavior()` třídy `Package`

P5 - metoda `releaseDrone()` třídy `Package`

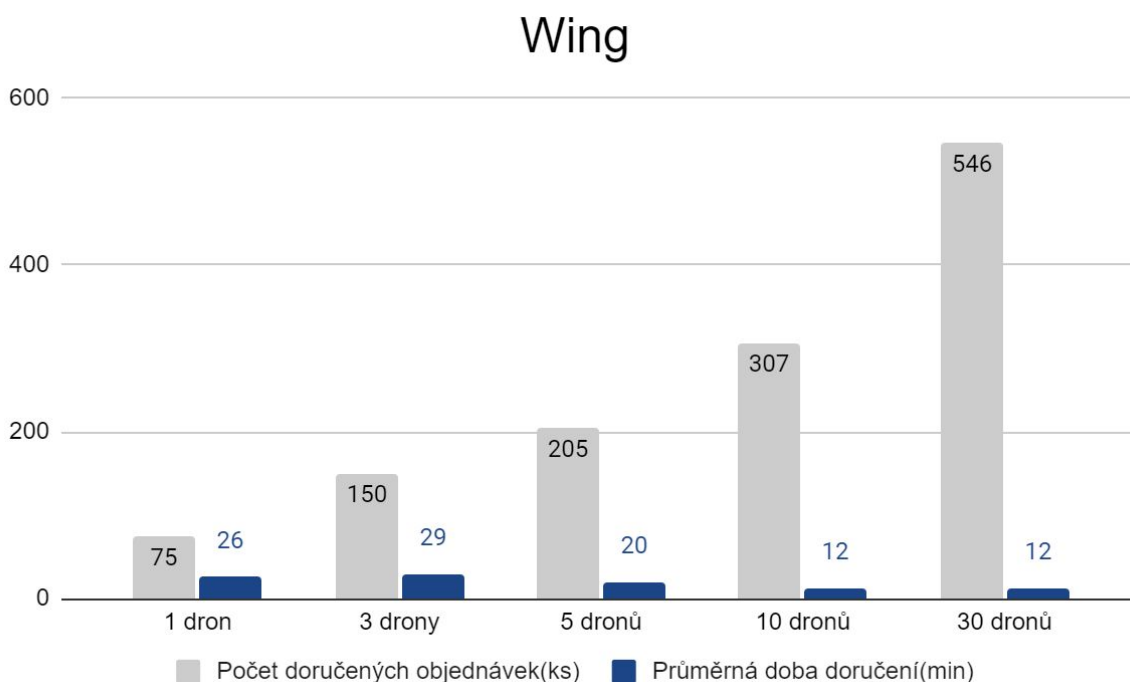
5. Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Podstatou těchto simulačních experimentů je porovnání více dronů od různých společností, které nabízejí doručování balíků pomocí dronů. Zaměřili jsme se především na počet doručených balíků a průměrnou dobu doručení. Měnili jsme vlastnosti dronu podle typu společnosti a taky jejich počet.

5.1 Wing

Wing je dceřinou společností společnosti Alphabet Inc., která vyvíjí technologii doručování zásilek pomocí dronů. V lednu 2019 začala společnost Wing dodávat jídlo a nápoje ze svého testovacího zařízení v australském Bonythonu v rámci pilotního programu. V dubnu 2019 se společnost Wing stala první společností využívající drony, která obdržela osvědčení leteckého provozovatele od Federální letecké správy (FAA), které jí umožnilo působit jako letecká společnost v USA [\[8\]](#).

Dron od společnosti Wing je při pohybu schopen dosáhnout rychlosti 113 km/h a to s doletem 20 km. Zásilka o váze až 1.5kg je k dronu připevněna na navijáku, který umožňuje doručení zásilky zákazníkovi [\[9\]](#).

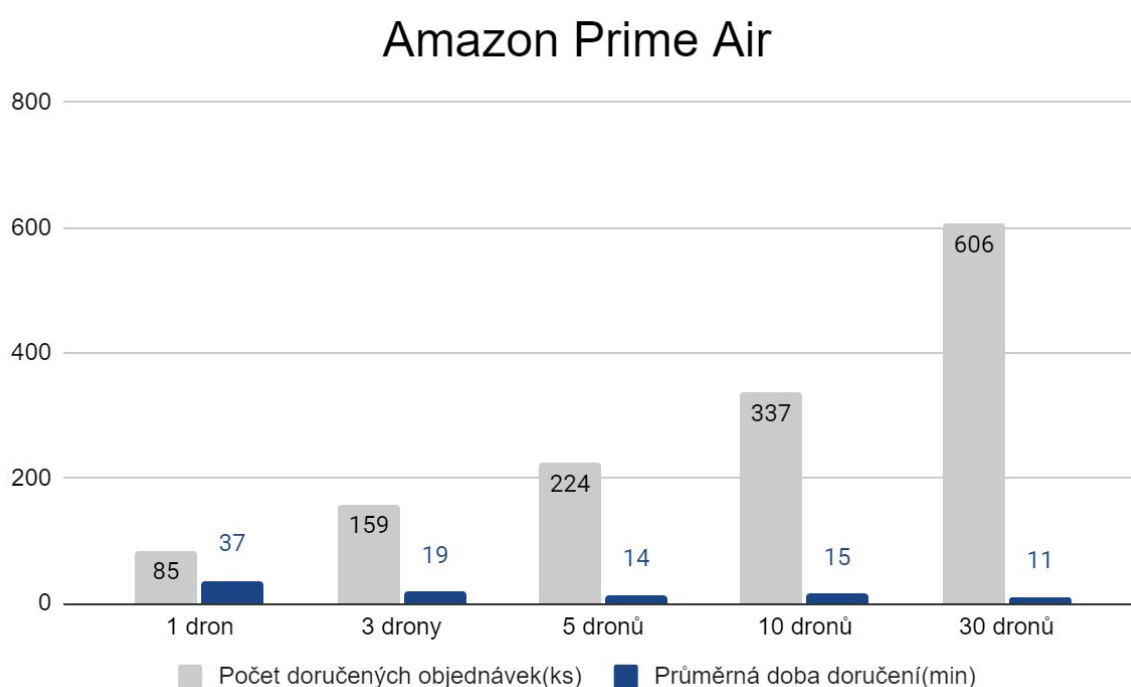


Při simulování doručování zásilek pomocí dronů Wing jsme zjistili, že počet přenesených zásilek za den byl s porovnáním s ostatními společnostmi nejnižší. Avšak Wing je jediná z testovaných firem s funkčním systémem na doručení zásilek běžným zákazníkům například pro objednání jídla nebo drobností. Za delší čas cesty také může z části naviják, který dostaví zásilku bezpečně na povrch.

5.2 Amazon Prime Air

V roce 2013 CEO Amazonu Jeff Bezos rozhovoru oznámil své plány o Amazon Prime Air. A tím rozpoutal rozsáhlou debatu o doručování zásilek pomocí dronů. Podle jeho slov by mělo být možné doručení zásilky za pouhých 30 minut od objednání. Firma byla následně roku 2016 založena a zatím se nachází ve fázi vývoje a testování. Tým vývojářů spolupracuje například s NASA nebo Single European Sky ATM na testování využívání systému řízení letového provozu Amazon [\[10\]](#).

Drony Amazon Prime Air jsou schopny přenosu zásilek o váze 2,25 kg a to do vzdálenosti 8 km od počátečního stanoviště. Při letu jsou schopni dosáhnout rychlosti 80,5 km/h. Zásilka je po dosažení cílové destinace snesena dronem na povrch a uvolněna pro převzetí zákazníkem [\[11\]](#).

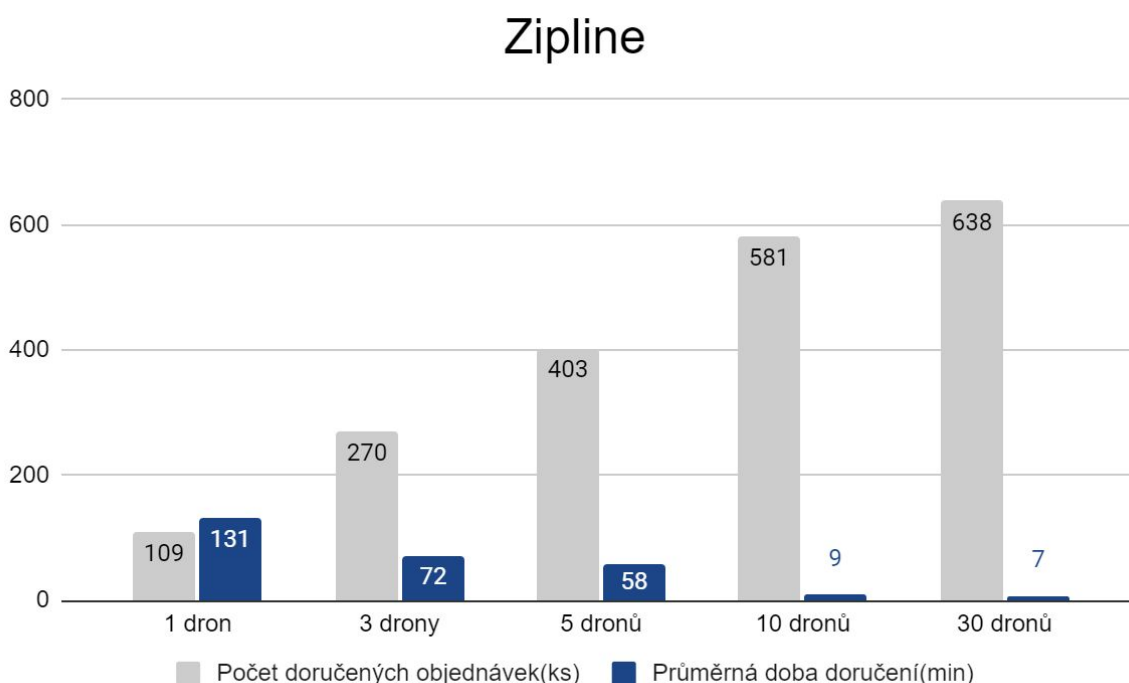


U simulace doručování zásilek pomocí dronů Amazon Prime Air nás zajímalo zda opravdu bude možné zajistit doručení do 30 minut. Toto omezení se nám nepodařilo dodržet jen u doručování jen jedním dronem. Bohužel u jediného z testovaných dronů jsme museli omezit maximální doručovací vzdálenost na 8 km, díky tomu není možné objektivně porovnat výsledky s ostatními drony.

5.3 Zipline

Zipline je americká společnost zabývající se doručováním zdravotnických produktů. Tato společnost začala využívat doručování pomocí dronů v roce 2016 v Rwandě primárně pro doručování krve. V květnu 2019 využívá více než 65% dodávek krve ve Rwandě mimo Kigali drony Zipline. V září 2019 Maharashtra oznámila, že Zipline bude dodávat urgentní léky po celé zemi. Zipline zahájí provoz na začátku roku 2020 a vybuduje 10 distribučních center, která pokryjí 120 milionů obyvatel.

Drony společnosti Zipline cestují rychlostí 101 km/h. Jejich maximální zátěž činí 1,75 kg a jsou schopni doručit zásilku do rekordní vzdálenosti 127 km. Jejich konstrukce umožňuje snadnou výměnu baterie pro instantní schopnost dalšího nebo zpátečního letu. Zásilka je poté snesena na povrch pomocí padáku připevněného k zásilce [\[12\]](#).

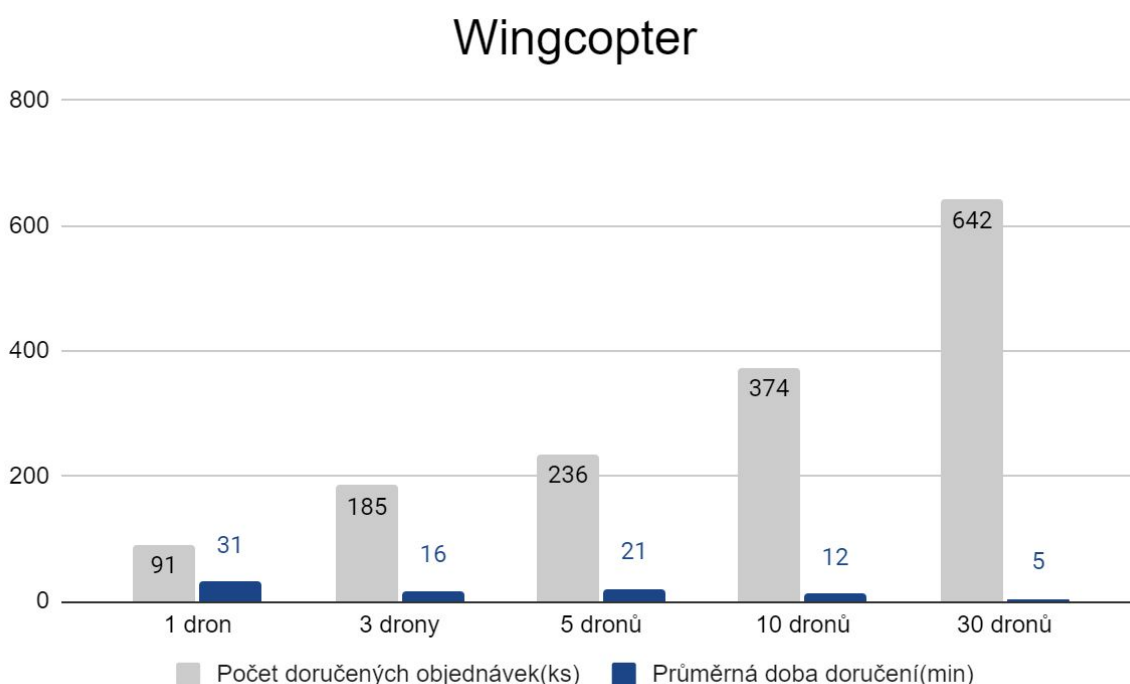


Dron od společnosti Zipline při našem simulování doručil celkově 2. největší počet objednávek při používání 30 dronů a největší počet objednávek u všech ostatních počtů dronů. Tyto výsledky si zasloužil hlavně díky vyměnitelné baterii, díky které je schopen vyřídit velké množství objednávek. Avšak jeho maximální rychlost je 101 km/h a proto i podle nás nevyřídil nejvíce objednávek při letce 30 dronů.

5.4 Wingcopter

Wingcopter je německá letecká společnost, která navrhuje a vyrábí bezpilotní doručovací drony schopné poskytovat dodávky na poslední míli, mapování, průzkumné práce a inspekce. V rámci projektu humanitární pomoci v Malawi v letech 2019/20 společnost Wingcopter dodávala léky do vzdálených oblastí, které byly částečně odříznuty od vnějšího světa povodní. Společnost Wingcopter rovněž aktivně spolupracuje s UNICEF a DHL na dodávkách vakcín a dalších léků na Vanuatu a v některých afrických zemích [\[13\]](#).

Jejich vlajkový dron, Wingcopter 178 Heavy Lift (HL), vytvořený v roce 2018 drží Guinnessův světový rychlostní rekord pro dálkově ovládaná letadla s naklápěcím rotorem, letící průměrnou rychlostí 240,6 km/h. Je schopen přenést zásilku až o hmotnosti 6 kg, při takové zátěži se však redukuje jeho dolet z 120 km bez jakékoliv zátěže na 45 km. Wingcopter také umožňuje 2 možnosti doručení zásilky a to díky padákovému zařízení nebo pomocí přistání a uvolnění [\[14\]](#).



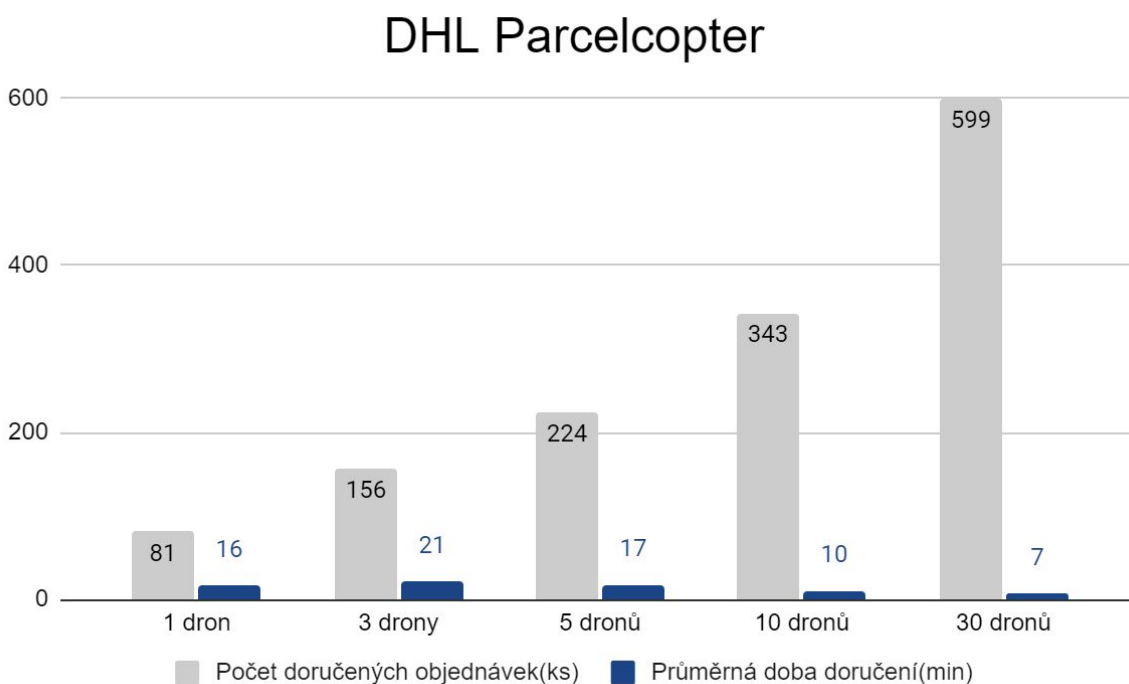
Vítězem vyřízení nejvíce objednávek při letce 30 dronů se při našem modelování stal dron společnosti Wingcopter, který vyřídil 642 objednávek. Průměrný čas pro vyřízení objednávky se v tomto případě pohyboval okolo 5,39 minut. Za tento čas je odpovědná rychlost drona, která je nejvyšší ze všech doručovacích dronů. Tuto rychlost je schopný docílit díky naklápěcím rotorům a aerodynamice dronu. ještě navíc je schopen přemístit nejtěžší náklad ze všech námi testovanými drony.

jejich web

5.5 DHL Parcelcopter

DHL Parcelcopter je určen především pro situace, které špatně zapadají do zavedené infrastruktury nebo kde jsou standardní způsoby doručování příliš zdlouhavé. Příkladem jsou místa, která nejsou spojena se standardní silniční sítí. „Přírodní bariéry“ jako voda nebo hory nejsou pro dron problémem. DHL Parcelcopter je tedy považován za nástroj ke zlepšení infrastruktury v těžko dostupných oblastech a zlepšení života tamních obyvatel.

Parcelcopter 4.0 je 4. generace doručovacího drona společnosti DHL. Tento dron je stále ve fázi testování. Je schopen doručovat zásilky o hmotnosti 4 kg a dosahuje rychlosti 130 km/h. Je schopen doručit zásilku 32,5 km daleko od místa vzletu [\[15\]](#).



Parcelcopter od společnosti DHL v našem modelování doručil v letce 30 dronů 2 nejmenší počet zásilek. Avšak průměrné doručení zásilky bylo dosaženo za 2. nejlepší čas. Avšak tento dron dokáže přemístit zásilku až o 4 kg což je 2. nejtěžší základ z našich testovaných dronů. DHL však stále vyvíjí a testuje své drony, takže v příští generaci tohoto dronu se dá očekávat další velká zlepšení.

5. Závěr

V rámci projektu jsme vyvinuly program, který slouží k simulaci doručovací služby pomocí dronů. Byl použit programovací jazyk C++ a jeho knihovna SIMLIB. Z výsledků našich experimentů jsme se dozvěděli, že jako jeden z nejefektivnějších dronů figuruje dron společnosti Wingcopter. Díky jeho rychlosti doručoval největší počet zásilek a to s velmi krátkou dobou doručení. Také se jednalo o dron s největší možnou hmotností zásilky a nadprůměrným doletem. Přesvědčili jsme se, že tento styl doručování zásilek je opravdu tak revoluční a jeho vnesení do praxe není otázkou vzdálené budoucnosti. Mnoho společností je jen pár kroků od implementace takových systémů nebo již tento systém v omezených případech využívají.

Zdroje

- [1] Amazon Prime Air drone delivery fleet gets FAA approval. [online]. Copyright © [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.cnbc.com/2020/08/31/amazon-prime-now-drone-delivery-fleet-gets-faa-approval.html>
- [2] Modelování a simulace - IMS. Faculty of Information Technology [online]. Copyright © 2020 [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/course/IMS/.cs>
- [3] Google's Wing drones approved to make public deliveries in Australia - The Verge. The Verge [online]. Copyright © 2020 [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2019/4/9/18301782/wing-drone-delivery-google-alphabet-canberra-australia-public-launch>
- [4] Delivery drone - Wikipedia. [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Delivery_drone
- [5] Peringer, P. a Hrubý, M. - Modelování a simulace. Zář 2020. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [6] SIMLIB/C++: SIMLIB. [online]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/doc/html/index.html>
- [7] Petriho síť – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Petriho_s%C3%AD%C5%A5
- [8] Wing (company) – Wikipedie. [online]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_\(company\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Wing_(company))

[9] Wing. Wing [online]. Copyright © Wing Aviation LLC. All rights reserved.
Dostupné z: <https://wing.com/>

[10] Amazon Prime Air - Wikipedia. [online]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Amazon_Prime_Air

[11] (PDF) Analysis of Amazon Prime Air UAV Delivery Service.
ResearchGate | Find and share research [online]. Copyright © 2008. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/317389269_Analysis_of_Amazon_Prime_Air_UAV_Delivery_Service

[12] Zipline (drone delivery) - Wikipedia. [online]. Dostupné z:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Zipline_\(drone_delivery\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Zipline_(drone_delivery))

[13] Wingcopter - Wikipedia. [online]. Dostupné z:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Wingcopter>

[14] Wingcopter GmbH – Technology with a Purpose. Wingcopter GmbH –
Technology with a Purpose [online]. Copyright © Wingcopter 2020. Dostupné
z: <https://wingcopter.com/>

[15] Deutsche Post DHL Group [online]. Copyright ©2020 © Deutsche Post
AG. Dostupné z:
<https://www.dpdhl.com/en/media-relations/specials/dhl-parcelcopter.html>