

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačního inženýrství



Diplomová práce

Navigace v areálu ČZU pomocí UAV

Bc. Jan Heřmánek

© 2017 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Heřmánek

Informatika

Název práce

Navigace v areálu ČZU pomocí UAV

Název anglicky

Navigation on CZU campus using UAV

Cíle práce

Cílem práce je navrhnout řešení, které umožní navigaci po areálu ČZU za pomoci UAV zařízení nacházejícího se na pevně stanoveném bodu v kampusu univerzity. Navigace bude zajištěna mobilní aplikací na operačním systému Android, která se spáruje s UAV zařízením a na základě dat zadaných uživatelem, najde nejkratší trasu k požadovanému objektu v areálu ČZU. Následně bude uživatel UAV zařízením navigován před požadovaný objekt. Jedná se o navigaci ve venkovních prostorech. Práce obsahuje návrh mobilní aplikace a návrh řídicího algoritmu UAV.

Metodika

Metodika diplomové práce je založena na podrobné analýze možností využití UAV zařízení dle jeho dokumentace doplněné o nabyté znalosti problematiky z odborné literatury. V práci budou vypracovány možné teoretické varianty řešení navigace pomocí UAV po venkovních prostorech areálu ČZU. Tyto varianty budou zhodnoceny a vyzdvihnuty jejich jednotlivé klady a nedostatky. Na základě zhodnocení bude jedna z nich navržena jako mobilní aplikace pro platformu Android.

Doporučený rozsah práce

70

Klíčová slova

UAV, dron, navigace, Android, mobilní aplikace, Java

Doporučené zdroje informací

HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka Java. 2. vyd. České Budějovice: Kopp, 2006. ISBN 80-7232-318-0.

KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.

NONAMI, K. Autonomous flying robots: unmanned aerial vehicles and micro aerial vehicles. New York: Springer, c2010. ISBN 9784431538561.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Josef Pavlíček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

Elektronicky schváleno dne 1. 11. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 11. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Navigace v areálu ČZU pomocí UAV" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Josefu Pavlíčkovi, Ph.D. za vedení této práce. Dále bych rád poděkoval RNDr. Martinovi Dlouhému, Ph.D. a robotickému týmu ČZU za odborné konzultace a pomoc při vytváření práce.

Navigace v areálu ČZU pomocí UAV

Souhrn

Diplomová práce se zabývá využitím UAV zařízení k navigaci uživatele po areálu univerzity prostřednictvím mobilní aplikace s operačním systémem Android. V rámci teoretické části práce je popsána problematika UAV, konkrétně výhody a nevýhody, možnosti použití, legislativa a předpokládaný budoucí vývoj. Z důvodu použití GPS k navigaci UAV zařízení v praktické části práce je popsáno její fungování a omezení. V závěru teoretické části práce je stručně popsán programovací jazyk Java a rozhraní pro programování UAV. V praktické části práce jsou navrženy tři možnosti realizace navigace, přičemž pomocí metody váženého pořadí je jako nejlepší varianta vybrána navigace pomocí GPS. Fungování aplikace je navrženo pomocí sekvenčního diagramu, algoritmus navigace pomocí diagramu aktivit, obrazovky aplikace pomocí wireframů a průchody aplikací pomocí scénářů. Aplikace je naprogramována a testována na školou zakoupeném UAV zařízení. V závěru práce jsou uvedeny možné návrhy na vylepšení a kritika navrženého řešení, která je dána hlavně současným zněním legislativy znesnadňující využití autonomní navigace v běžném provozu.

Klíčová slova: UAV, dron, navigace, Android, mobilní aplikace, Java

Navigation on CZU campus using UAV

Summary

The thesis proposes a solution to autonomous navigation around university campus using UAV device. The navigation is performed using mobile application running on Android operating system. Theoretical part describes the problematics of UAV's, especially the advantages and disadvantages, use cases, legislation and expected future development. Due to the use of GPS sensor to navigate the UAV in the practical part, it describes its functioning and limitations. End of theoretical part briefly describes the Java programming language and UAV programming interface. In the practical part there are three proposed options for implementing the navigation. Using a method of weighted ranking, there is a single option selected as the best suitable for navigation using GPS. Functioning of the application is designed using the sequence diagram, the navigation algorithm using activity diagram, application user interface using wireframes and application flow using scenarios. The application is developed and tested on the school purchased UAV device. In conclusion there are presented suggestions for improvements and criticism of the proposed solution, which is determined mainly by the current version of legislation, which is complicating the use of autonomous navigation in public space.

Keywords: UAV, drone, navigation, Android, mobile application, Java

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Cíl práce a metodika	12
2.1 Cíl práce	12
2.2 Metodika	12
3 Teoretická východiska	13
3.1 Dron.....	13
3.1.1 Historie.....	13
3.1.2 Rozdělení dronů.....	16
3.1.3 Výhody.....	26
3.1.4 Nevýhody.....	28
3.1.5 Možnosti využití dronů	30
3.1.6 Jednotlivé součásti dronu.....	37
3.1.7 Legislativa.....	43
3.1.8 Budoucnost	45
3.2 Navigace (GPS).....	47
3.2.1 Segmenty systému GPS	48
3.2.2 Základní metody určování polohy	51
3.2.3 Signály vysílané družicemi	52
3.2.4 Navigační zpráva	53
3.2.5 Omezení GPS.....	53
3.3 Java.....	55
3.3.1 Bytekód	55
3.3.2 Základní vlastnosti Javy.....	55
3.3.3 Parrot SDK, API a dokumentace	57
4 Vlastní práce	59
4.1 Dron použitý pro implementaci	59
4.1.1 Základní parametry	60
4.1.2 Konektivita a výkon.....	60
4.1.3 Video.....	60
4.2 Popis navržených řešení	61
4.2.1 Navigace předem stanoveným pohybem	61
4.2.2 Navigace pomocí GPS	62
4.2.3 Navigace pomocí obrazu	62
4.3 Srovnání jednotlivých řešení.....	64

4.3.1	Chyba způsobená vnitřní nepřesností	64
4.3.2	Chyba způsobená vnějšími vlivy	65
4.3.3	Živé zpracovávání dat	65
4.3.4	Náročnost úpravy trasy	65
4.3.5	Rozšíření počtu tras	66
4.3.6	Náročnost vypracování	66
4.3.7	Vyhodnocení	66
4.3.8	Vybrané řešení	67
4.4	Implementace	68
4.4.1	Komunikace drona s aplikací	68
4.4.2	Návrh logiky navigace	68
4.4.3	Návrh UI	71
4.4.4	Scénáře	74
4.4.5	Načítání trasy	74
4.4.6	Testování	75
5	Výsledky a diskuse	81
5.1	Problémy s aktuálně navrženou navigací	81
5.1.1	Legislativa	81
5.1.2	Výška letu	82
5.1.3	Nepříznivé povětrnostní podmínky	82
5.2	Možná rozšíření aplikace	82
5.2.1	Přizpůsobení rychlosti drona	83
5.2.2	Načítání tras z internetu	83
5.2.3	Kombinace navigace pomocí GPS a obrazu	83
5.2.4	Předělání komunikace na dron-server a server-klient	83
6	Závěr	84
7	Seznam použitých zdrojů	86
8	Seznam zkratk	88

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Drony, směr rotace vrtulí	21
Obrázek 2 - GPS – Řídící segment	50
Obrázek 3 - Parrot sample – diagram tříd	58
Obrázek 4 - Průběh aplikace – Sekvenční diagram	69
Obrázek 5 - Algoritmus navigace – Aktivitní diagram	70

Obrázek 6 - Obrazovka dostupných zařízení	72
Obrázek 7 - Obrazovka navigace	73
Obrázek 8 - Testování – kratší vzdálenost mezi průletovými body	76
Obrázek 9 - Testování – delší vzdálenost mezi průletovými body	77
Obrázek 10 - Testování – adaptivní vzdálenost mezi průletovými body	78
Obrázek 11 - Testování – v prostorách ČZU	79

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Použitý dron – Základní parametry	60
Tabulka 2 - Použitý dron – Konektivita a výkon	60
Tabulka 3 - Použitý dron – Video	60
Tabulka 4 - Ohodnocení variant metodou pořadí	66
Tabulka 5 - Váhové ohodnocení metody pořadí	67

1 Úvod

Hlavním faktorem, vedoucím k výběru tohoto tématu, je aktuálně rychle se rozvíjející odvětví využívání dronů mimo jejich původní armádní zaměření, tedy v oblasti komerčního sektoru. Díky vlastnostem, které drony mají, je možné očekávat jejich zapojení v běžných odvětvích, která v současnosti vykonávají lidé, například logistika, využití v bezpečnostních složkách atd. Toto rozšíření v současné době brzdí pomalý legislativní proces, který nereaguje dostatečně rychle na vývoj nových modelů a s tím spojeným využitím v nových odvětvích.

Práce se zabývá tematikou dronů, přesněji jejich částí v komerčním sféře. Obsahuje možné rozdělení dronů podle různých kritérií do kategorií ať již z hlediska technických parametrů jednotlivých modelů, tak z hlediska zaměření typů dronů na různé skupiny uživatelů. Dále jsou v práci vyzdvihnuty výhody dronů, mezi které patří především levnější provoz ve srovnání s klasickými pilotovanými zařízeními a možnost dálkového ovládní drona pomocí vyhodnocení online přenášeného obrazu. Pro zachování objektivity jsou uvedeny i nevýhody, mezi které patří zejména omezený dolet a relativně rychlé vybíjení baterií, tzn. kratší čas letu. Uvedené výhody a nevýhody silně závisí na typu drona, respektive kvalitě zpracování a pořizovací ceně. V následující části práce jsou popsány možnosti využití dronů v komerčním sektoru, přičemž každá uvedená možnost využití uvádí také srovnání se současně užívaným řešením, které je možné nahradit použitím dronů. Dále jsou popsány jednotlivé součásti, ze kterých se dron skládá a následně i legislativa týkající se bezpilotních systémů, platících na území ČR. Závěrečná část kapitoly, popisující drony, obsahuje možný budoucí vývoj v této oblasti.

Jelikož je v praktické části práce, jako nejlepší varianta vyhodnocena navigace pomocí GPS, tak teoretická východiska popisují tuto oblast, tedy základ fungování, metody měření, a hlavně omezení GPS, což je pro vypracování praktické části velmi důležité. Navržené řešení je v praktické části práce implementováno pro zařízení s operačním systémem Android, proto je k naprogramování výsledné aplikace použit programovací jazyk Java, který je v závěru teoretické části práce krátce popsán.

V praktické části práce je navržena logika zpracování navigace, která je následně implementována ve vypracované aplikaci, dostupné pro mobilní zařízení s OS Android.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout řešení, které umožní navigaci po areálu ČZU za pomoci UAV zařízení nacházejícího se na pevně stanoveném bodu v kampusu univerzity. Navigace bude zajištěna mobilní aplikací na operačním systému Android, která se spáruje s UAV zařízením a na základě dat zadaných uživatelem, najde nejkratší trasu k požadovanému objektu v areálu ČZU. Následně bude uživatel UAV zařízením navigován před požadovaný objekt. Jedná se o navigaci ve venkovních prostorách. Práce obsahuje návrh mobilní aplikace a návrh řídicího algoritmu UAV.

2.2 Metodika

Metodika diplomové práce je založena na podrobné analýze možností využití UAV zařízení dle jeho dokumentace doplněné o nabyté znalosti problematiky z odborné literatury. V práci budou vypracovány možné teoretické varianty řešení navigace pomocí UAV po venkovních prostorách areálu ČZU. Tyto varianty budou zhodnoceny a vyzdvihnuty jejich jednotlivé klady a nedostatky. Na základě zhodnocení bude jedna z nich navržena jako mobilní aplikace pro platformu Android.

3 Teoretická východiska

3.1 Dron

Název vychází z anglického slova „drone“. Jedná se o UAV (Unmanned Aerial Vehicle) zařízení, tedy bezpilotní letecký prostředek (případně se může jednat o celé systémy), který je řízen dálkově osobou mimo dané UAV nebo předem definovaným algoritmem pro pohyb v prostoru nebo algoritmem, který přímo vyhodnocuje možné výstupy UAV a na základě těchto výstupů řídí UAV.

3.1.1 Historie

Za první krok k vytvoření bezpilotního zařízení je možné považovat patent Nikoly Tesly, který v roce 1898 na Elektrické exhibici v Madison Square Garden uvedl svůj vynález nazvaný „*teleautomaton*“ (teleautomatizace). Vynález byl první radiově řízené zařízení ve formě miniaturní lodě. Představil dvě zařízení, přičemž první bylo dálkově řízeno nad vodou a druhé mělo skrytou anténu a mohlo být řízeno pod vodou. Nejvýznamnější myšlenky ovšem zůstaly skryté i v patentu kvůli strachu Tesly z odcizení, jak se stalo u mnoha jeho vynálezů. Později se ukázalo, že v Teslových nákresech byla zachycena i úvaha o vytvoření bezpilotního létacího zařízení na podobném základu jako v patentu. (1)

Ovšem za prvním opravdu sestrojeným UAV stojí anglický profesor Archibald Montgomery Low, známý vynálezce torpéd a řízených raket, který v roce 1916 představil *Aerial Target* (Vzdušný cíl). Toto bezpilotní letadlo a řada následujících sloužily v první světové válce ne pro sběr informací, ale jako vzdušná obdoba torpéda. Například v roce 1918 bylo poprvé úspěšně testováno bezpilotní letadlo, nazvané *Kettering Bug*, které bylo schopné zasáhnout až 64 kilometrů vzdálený cíl. (2)

Bezpilotní letadla se následně v 30. letech 20. století přestaly používat pouze jako zbraň k zasažení nepřítele, ale také jako cvičné terče. K tomuto sloužilo například bezpilotní letadlo nazvané „Včelí královna“ a cvičné útoky na něj testovalo britské královské námořnictvo. (2)

K dalšímu vývoji využití bezpilotních letadel došlo v 60. letech 20. století, kdy drony začaly být používány jako průzkumná letecká zařízení. Tímto způsobem byly následně využity

hlavně americkou armádou ve válce ve Vietnamu a poté v arabsko-izraelské válce v roce 1973. Ještě větší využití dronů k monitorování válečného konfliktu přichází s válkou v Bosně a Kosovu v 90. letech 20 století. (2)

Drony se po celou dobu vojenského vývoje vyznačovaly výhodou absence pilota přímo ve stroji, tedy vyhnutí se přímého ohrožení jeho života, přičemž pilot se mohl v pozdějších letech vývoje dronů nacházet až několik tisíc kilometrů od daného drona. Drony se nejvíce využívaly k účelům monitoringu požadované oblasti, kde poskytovaly přenos videa ve vysokém rozlišení. Jedním z nejznámějších modelů byl dron americké armády s označením RQ-1 Predator, kde písmeno R označovalo „výzkumný“ a Q označovalo „bezpilotní systém“. Po teroristických útocích 11. září 2001 na USA změnil tento model označení na MQ-1 Predator, kde M označovalo multi-role, tedy víceúčelový. V praxi to znamenalo, že dron byl osazen řízenými střelami (Hellfire a Stinger) a do boje byl nasazen pro účel eliminace cílů. (2)

3.1.1.1 Drony v ČR

V České republice zajišťuje vývoj v této oblasti Vojenský technický ústav letectva a protivzdušné obrany v Praze. Nejznámějším bezpilotním letounem české výroby je Sojka III, která sloužila jako průzkumný bezpilotní letoun a od roku 2010 je vyřazena z provozu a v současnosti je přístupná k vidění pro veřejnost v kbelském leteckém muzeu. (2)

3.1.1.2 Současnost a budoucnost

Ačkoliv se většina prostředků na vývoj této technologie vztahuje k vojenským účelům, tak se hlavně v posledním desetiletí velice zvýšila poptávka, tím pádem i nabídka, po využití této technologie v komerční sféře. Důkazem tohoto tvrzení je předpokládaný vývoj hodnoty tohoto odvětví pro komerční sféru uvedený na webu businessinsider, kde zpráva z června 2016 odhaduje aktuální hodnotu tohoto trhu kolem jedné miliardy amerických dolarů. Pro rok 2024 ovšem odhaduje hodnotu tohoto trhu v rozmezí mezi třemi až čtyřmi miliardami amerických dolarů. (3)

Pro objektivní srovnání je třeba zmínit, že aktuální odhadovaná hodnota trhu s armádními drony, respektive drony pro obranné účely, je 8 miliard amerických dolarů a pro rok 2024 je odhadována na 10 miliard. (3)

Ačkoliv v poměru aktuálních hodnot a odhadnutých pro rok 2024 se může zdát, že trh pro komerční využití této technologie bude růst rychleji, tak je třeba brát v úvahu, že jde stále pouze o odhad, který může být ovlivněn velkým množstvím faktorů.

Kdybychom srovnali hodnoty jednotlivých trhů, tak je možné dvěma faktory částečně vysvětlit rozdíly v jejich velikosti.

Za první faktor je možné považovat čas, po který se tato technologie v jednotlivých sférách využívá. Armádní drony se masivně využívají již od druhé poloviny dvacátého století. Na druhou stranu u dronů v komerční sféře došlo k masivnímu růstu prodejců a jejich zákazníků až v 21. století.

Druhým faktorem je druh zákazníka, na kterého cílí. U armádních dronů je tímto zákazníkem převážně stát, který disponuje možnostmi investic v obrovských částkách. Server time.com uvádí, že cena MQ-9 Reaper, který je nástupcem MQ-1 Predator, je cca 12,5 milionu amerických dolarů. (4)

Jiným směrem se ubírá trh s komerčními drony, kde se cena řídí podle možností zákazníka, kterými jsou v tomto případě většinou běžní občané. Na trhu se pohybuje velké množství výrobců a jednotlivých modelů, proto se cena jednotlivých modelů řídí možnostmi zákazníka, ale ve většině případů se pohybuje maximálně v řádech desítek tisíc korun.

Současný vývoj v oblasti bezpilotních zařízení s sebou přinesl i rozvoj v jiných oblastech, které drony využívají. Jedná se o rozvoj v oblasti pohonných baterií a jejich kapacit, motorů, závěsných systémů, senzorů a eliminace jejich vibrací, miniaturizace elektroniky a programování ovládacích softwarů. (2)

3.1.1.3 Drony v komerční sféře

S nárůstem poptávky po dronech v komerční sféře vzniklo velké množství firem, které se stavbou a programováním dronů zabývají. Ovšem množství firem do tohoto odvětví vstoupilo také ve chvíli, kdy vývoj vlastních dronů byl logický krok pro rozšíření dosavadního nabízeného portfolia. Mezi nejznámější firmy, které takto rozšířili svoje portfolio, patří GoPro. Tato firma se zabývala hlavně vývojem a prodejem kamer, jejich stabilizací, uchycením atd. S rozšířením trhu s drony tato firma dokázala úspěšně spojit své know-how z oblasti svého podnikání s novým produktem (dronem) a úspěšně tak oslovit, na základě silné hodnoty značky GoPro, velké množství zákazníků.

V současné době není pravdou, že USA jsou v tomto odvětví monopolem. Stále více firem vzniká hlavně v Číně (DJI – produktová řada Phantom), ve Francii (Parrot – produkty Bebob, Disco) a dalších zemích.

Obecně se drony v komerční sféře liší v parametrech a součástech, které jejich výrobci nabízejí a od kterých se odvíjí výše pořizovací ceny. Drony nabízejí různorodost z hlediska velikosti, váhy, výdrže baterií, tvaru, letových a vizuálních vlastností, typů motorů, nabízených senzorů, počtu a rozmístění vrtulí. (2)

S rozšířením do komerčního sektoru stále více dronů využívá spíše napájení pomocí baterie, oproti dříve většinově využívanému pohonu pomocí spalovacího motoru.

V první fázi rozšíření dronů do komerčního sektoru kladli výrobci důraz na využívání kvalitních materiálů, většinou se jednalo o hliníková vlákna. S tím se pojila vysoká pořizovací cena a cena náhradních dílů. V této fázi byly drony využívány převážně profesionály.

V druhé fázi kladli výrobci důraz na masivní rozšíření zákazníků. Tím bylo dosaženo osazením drona velice kvalitními kamerami pro možnost řízení drona za pomoci přenášeného obrazu, ale hlavně možnosti nahrávat videa a fotografie ve vysokém rozlišení. Tím se povedlo výrobcům oslovit velké množství osob, a tak při masivním objemu produkce snížit náklady na vyrobený produkt.

Trh s drony se v současné době stále více podobá trhu s elektronikou, ve kterém výrobci v určitých časových intervalech uvádějí na trh nový produkt, přičemž někdy se jedná dokonce o interval kratší než jeden rok. (2)

3.1.2 Rozdělení dronů

Komerční drony je možné rozdělit do množství kategorií dle různých hledisek. Následující kapitola uvádí několik těchto kategorií pro ilustraci široké variability dronů.

3.1.2.1 Podle zaměření

Běžní uživatelé

Drony patřící do této kategorie se vyznačují nižší pořizovací cenou, menším sortimentem senzorů a funkcí, které dron, popřípadě jeho ovládací zařízení, nabízí. Většinou je i doba letu výrazně nižší než u pokročilejších modelů.

Pokročilí uživatelé

Tato kategorie je mezistupněm mezi drony určenými pro běžné uživatele a profesionály. V současné době se výrobci snaží minimalizovat rozdíly mezi těmito kategoriemi, proto je možné většinu dronů zařadit do této kategorie.

Profesionálové

Tyto drony se vyznačují vysokou cenou, velice kvalitními materiály, výrazně lepšími letovými vlastnostmi a možností delšího doletu. Dále je u většiny těchto dronů rozdělena funkce pilota a operátora. Pilot se stará o ovládání drona, zatímco operátor se nezávisle na pohybu drona stará o ovládání a natáčení kamery. Tyto drony jsou také mnohem robustnější, vyznačují se možností výměny, respektive úpravy jednotlivých součástí, přičemž se nejedná pouze o výměnu náhradního dílu.

3.1.2.2 Podle typu pohonu

Elektrický (baterie)

Tento pohon je v současnosti u komerčního typu dronů nejvíce rozšířen. Na rozdíl od pohonu pomocí spalovacího motoru má několik výhod i nevýhod. Obecně u dronů platí problém závislosti mezi kapacitou baterie, potažmo její vahou, a dobou možného letu. Platí, že čím větší je kapacita baterie, tím je dron těžší a musí k letu spotřebovat větší množství energie, aby měl velké množství energie, tak musí mít větší kapacitu baterie, tím pádem je baterie těžší. Tuto smyčku se výrobci snaží vyřešit využíváním odlehčených materiálů a optimalizací výkonu motorů při letu drona. (5)

Spalovací

Spalovací motor se v rámci komerční sféry využívá spíše u profesionálních dronů.

3.1.2.3 Podle typu

Multikoptéry

Jedná se o takový typ drona, který má obecně více vrtulí (motorů). Hlavním poznávacím znakem je možnost kolmého vzletu a přistání, což je obrovská výhoda. Takovýto dron je osazen sudým počtem vrtulí. Existují však experimentální trikopty využívající tři vrtule.

Každá vrtule je většinou připojena k vlastnímu motoru, kterým je možné regulovat rychlost otáčení vrtule a v kombinaci úpravy výkonu jednotlivých motorů pak pohyb drona ve vzduchu. Nejčastějšími typy dronů jsou kvadroptéry (4 vrtule), hexakoptéry (6 vrtulí) a oktoptéry (8 vrtulí). (2)

Obecně platí, že čím více má dron vrtulí, tím více je ve vzduchu stabilní, hlavně při nepříznivých povětrnostních podmínkách. U stroje s více vrtulemi je také lépe ovladatelné nouzové přistání při poruše některé z vrtulí, popřípadě motoru. Na druhou stranu s vyšším počtem vrtulí se pojí vyšší spotřeba energie při letu. Vrtule, které jsou usazeny vedle sebe, rotují opačným směrem a zabraňují tak nekontrolovatelnému rotování celého drona. Velkou výhodou je možnost držení statické pozice ve vzduchu jen s minimálním pohybem. Díky této vlastnosti je u tohoto typu drona možný let ve venkovních prostorech i v interiéru. (2)

(6)

Velkou nevýhodou je nutnost relativně vysokého výkonu všech motorů během letu, což je spojeno s vysokou spotřebou energie. Tato nevýhoda je dána vlastní konstrukcí tohoto typu drona.

Letouny („křídla“)

Tento typ dronů, také nazýván „křídlo“ (z anglického označení wing) se typem své konstrukce velmi podobá většině dronů využívaných armádou. Oproti multikoptérám je jeho obrovskou výhodou menší spotřeba energie a s tím spojený mnohem delší dolet a čas strávený ve vzduchu na jedno nabití, který je až několikrát delší než u multikoptér. Tato vlastnost je daná přímo konstrukcí, jelikož při letu nemusí letoun používat množství motorů (většinou stačí jeden) a využívá aerodynamických vlastností. Tento typ dále dosahuje mnohem vyšších rychlostí letu. Jeho nevýhodou je ovšem nemožnost držet staticky ve vzduchu na jedné pozici.

Ve většině případů je u tohoto typu drona pevně určen typ dílů nutných k sestavení přímo výrobcem a je tudíž nemožné využití alternativních komponent. Ovšem největší nevýhodou letounů oproti multikoptérám je nutnost velkého prostoru potřebného pro vzlet, a hlavně pro přistání, který se pohybuje v desítkách až stovkách metrů. Na rozdíl od multikoptéry, která umožňuje z několika desítek metrů klesat kolmo až na bod přistání, musí letoun klesat postupnými kruhy až na přistávací plochu, která by ideálně měla mít rovný povrch. Tento

proces je relativně zvládnutelný za využití osoby při ovládnání daného letounu. Problém nastává ve chvíli, kdy je potřeba zajistit autonomní let. V takovém případě je velmi složité zaručit, aby během autonomního přistání v relativně vysoké rychlosti nedošlo k nárazu do objektu nacházejícího se v oblasti přistávací plochy. Tato vlastnost velice zužuje seznam míst, která jsou vhodná pro vzlet, respektive přistání.

Jelikož je ovládnání tohoto typu drona náročnější a při amatérském používání je vyšší možnost kolize, jedná se spíše o záležitost profesionálů. Ačkoliv se nyní komerční společnosti snaží zpropagovat své letouny určené i pro méně zkušené uživatele, je počet takovýchto produktů nadále nízký a cena je zatím mnohem vyšší než u multikoptér obdobné úrovně.

Vzlet je u tohoto typu drona snazší než přistávání a je možné ho provádět dvěma základními způsoby. Prvním způsobem je využití odpalovací rampy. Pružné lano je připevněno k rampě a natažené kolem letounu. Pomocí dálkové spouště se lano uvolní a odpálí letoun z rampy, který v momentě vypuštění zapíná motory a přechází do letu. Tento způsob ušetří velké množství energie, které je potřeba při vzletu jen za pomoci vrtule. Druhým způsobem je využití hodu z ruky. Tento způsob není tak efektivní jako první zmíněný, jelikož nedodá letounu takovou rychlost. Ovšem oproti využití odpalovací rampy není potřeba přepravovat a instalovat rampu a její příslušenství. Před hodem je letounu zapnut motor a v momentě hodu přechází do letu stejně jako při využití odpalu z rampy.

3.1.2.4 Podle počtu motorů

Dle tohoto rozdělení je třeba rozlišovat tři základní typy UAV a na základě počtu jejich motorů.

Letoun

Letouny mají v převážné většině jeden motor, tedy jednu vrtuli. Mohou se ovšem lišit tím, kde je vrtule na těle drona usazená, přičemž pozice vrtule je dána předpokládaným využitím UAV. Existují letouny, které mají vrtuli připevněnou k předku. Tento typ letounu ovšem ztrácí možnost využití přední kamery. V případě potřeby využití přední kamery je možné využít přichycení vrtule na zadní straně letounu.

Další možností je využití většího počtu motorů (většinou dva) na křídla. Tato možnost umožňuje přichycení kamery vpředu a zároveň dává UAV větší tah a zvýšenou ovladatelnost. Nevýhodou tohoto řešení je větší spotřeba energie při letu.

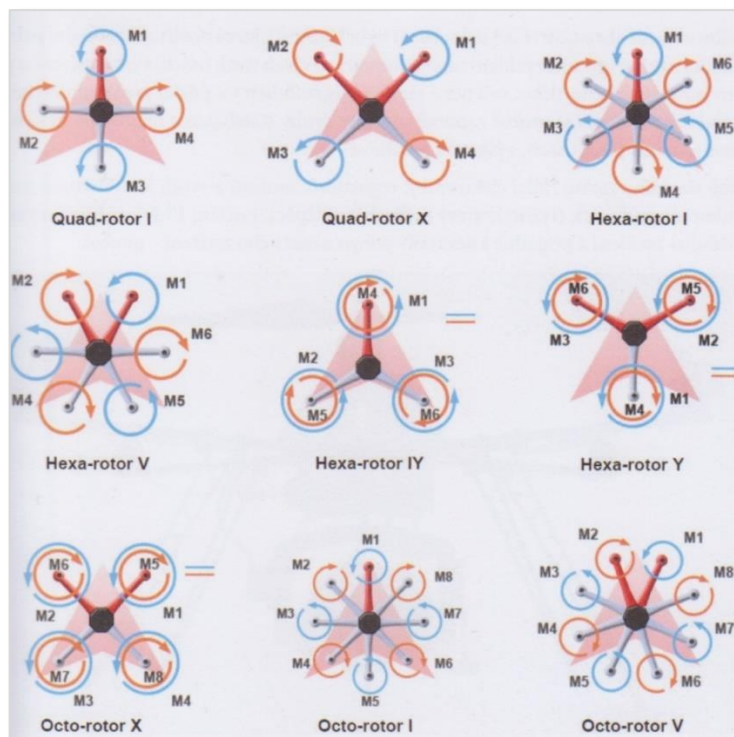
Vrtulník

Vrtulník je speciální typ multikoptéry. Jedná se o multikoptéru se dvěma motory, kdy jeden je přichycen na vrchní části UAV a slouží k vertikálnímu pohybu a druhý je na zadní části a slouží k eliminaci rotace způsobené vrchní vrtulí. Obě vrtule mezi sebou svírají pravý úhel.

Multikoptéra

Tato skupina obsahuje velké množství kombinací počtu motorů. V převážné většině se jedná o sudý počet vrtulí, ale existují i experimentální multikoptéry s lichým počtem vrtulí. U multikoptér se sudým počtem vrtulí se využívá rotace, která je nastavena tak, že sousední vrtule točí směrem k sobě.

Dále existují multikoptéry, které využívají dvě vrtule na jednom rameni, které jsou připojeny k jednomu motoru. Opět je zde výhoda větší stability a mrštnosti za cenu vyšší spotřeby energie, tedy kratší doby letu. Na obrázku níže (viz. Obrázek 1 - Drony, směr rotace vrtulí) jsou vyznačeny možné směry rotace vrtulí různých typů multikoptér.



Obrázek 1 - Drony, směr rotace vrtulí

Zdroj: Karas, Jabub a Tichý, Tomáš. Drony. (2 str. 153)

3.1.2.5 Podle způsobu ovládání

Manuální

K ovládání je v tomto případě potřeba osoba, která v reálném čase pomocí dálkového ovládače řídí dron.

Automatické

Do drona je předem nahrán plán letu, který po vzletu absolvuje. Jedná se o předem definovanou trasu vytvořenou uživatelem.

Kombinované

Tento přístup je velice výhodný u dronů typu letoun, u kterého je velkým problémem přistávání. Dron vzlétne, provede automatickou trasu a vrátí se na místo, kde uživatel přebírá kontrolu nad letem a může tak bezpečně přistát.

Autonomní

Tento způsob je nejsložitější a nejspolehlivější na vývoj. V autonomním režimu dron sám vyhodnocuje vstupy, na základě uživatelem předem daných pravidel chování, a adekvátně na ně reaguje. Příkladem autonomního chování je vyhnutí se překážce pomocí zpracování a analyzování obrazu nebo navigace pomocí GPS.

3.1.2.6 Podle typu přenosu signálu

Bluetooth

Jedná se o typ signálu s nejkratší vzdáleností pro přenos dat. Pro většinu zařízení se vzdálenost spolehlivého přenosu pohybuje do 10 metrů. Příkladem využití tohoto typu přenosu je dron od společnosti Parrot Rolling Spider. Tento typ drona je ovládán pomocí mobilního telefonu před bluetooth.

WiFi

Přenos signálu pomocí WiFi je v současné době běžně využíván například pro drony, které jsou ovládány pomocí mobilních telefonů nebo tabletů. Oproti přenosu signálu pomocí Bluetooth má WiFi několikanásobně delší vzdálenost pro spolehlivý přenos dat. Další výhodou je vyšší objem přenosu dat v čase. Díky tomu je možné využít přenosu videa přímo z drona do zařízení během letu a umožnit tak pilotovi ovládat drona s větší přesností. Navzdory tomu výrobci varují, že pilot by měl mít drona vždy v dosahu vidění a neměl by se řídit pouze obrazem přenášeným do ovládacího zařízení.

Radiové vlny

Touto kategorií jsou myšleny ostatní zařízení nepoužívající jako ovladač mobilní telefon nebo tablet, a přesto využívající radiové vlny. Tyto zařízení na základě zákona pracují ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz. Naprostá většina dronů určených pro profesionály využívá tento typ přenosu signálu. V současné době se využívá tzv. párování, které předchází chybám tím, že si obě komunikující zařízení zapamatují sériové číslo protějšku a dále již přijímají komunikaci vysílanou pouze tímto zařízením. Dříve využitím stejného kanálu vznikaly kolize signálu vedoucí k haváriím UAV. (2)

3.1.2.7 Podle stabilizace a ovládání obrazu

Hardwarová

Implementace hardwarové stabilizace spočívá v připevnění plošiny na dron, ke které je pomocí stativového šroubu připojena kamera. Tento způsob stabilizace se nazývá gimbal. Gimbal slouží pro stabilizaci obrazu pro účely natáčení, ale i focení. U drona se rozlišuje několik druhů gimbalu. Jednotlivé gimbaly se liší podle typu konstrukce, rychlosti reakce na změnu pohybu, typem ovládání, počtem řízených os atd. Nejčastěji se využívají dvouosé nebo tříosé gimbaly. Nejjednodušším příkladem gimbalu je ovšem pouhé uchycení kamery k dronu pouze pomocí držáku, který kameru staticky uchytí k dronu. Použitím tohoto způsobu přichycení není možné kameru žádným způsobem mechanicky ovládat a jakékoliv prudké pohyby drona, ať se jedná o pohyb řízený pilotem nebo poryvy větru, silně znehodnocují vizuální záznam.

„Nejlepší tříosé gimbaly naopak umožňují pohyby nahoru a dolů (výška horizontu v záběru), do stran (náklon horizontu) a také úplnou volnost pohybu kolem svislé osy (panorámování)“.

(2 str. 179)

Ovládání gimbalu, nejedná-li se pouze o statické přichycení k dronu, zajišťuje přímo pilot nebo u profesionálnějších typů dronů je svěřeno operátorovi, který přes vlastní komunikační zařízení gimbal ovládá. Z hlediska legislativy je přijatelnější ovládání více osobami, přičemž každá obsluhuje svou část. Podle legislativy je totiž pilot zodpovědný za to, že po celou dobu letu vizuálně kontroluje UAV zařízení a na displej se smí podívat pouze v případě zlepšení orientace nebo přečtení telemetrických dat, a to pouze na dobu nezbytně nutnou. (2)

Připevnění gimbalu k dronu je zajištěno pomocí gelových, gumových nebo kovových silentbloků sloužících k odstranění i minimálních vibrací, které způsobuje například pohyb vrtulí. Další funkcí gimbalu je možnost dálkového ovládání spouště připevněného fotoaparátu. Tímto je zajištěno širší použitelnost gimbalu pro více typů snímkovacích zařízení.

„Dříve se často používaly mechanické spouště, se servem a páčkou ovládající tlačítko spouště na kameře, nicméně dnes se tak nejčastěji děje vysláním trigger pulzu buď přímo do elektroniky fotoaparátu/kamery (často je tímto pulzem pouze zkratování obvodu spouště),

anebo pomocí infračervené diody umístěné před senzorem pro dálkové ovládání fotoaparátu.“ (2 str. 181)

Softwarová

Tento typ stabilizace je použit hlavně u zařízení, které mají kameru integrovanou přímo do těla drona. V tomto případě není možné hardwarové ovládání. Tento způsob stabilizace je implementován například u drona Parrot Bebop 2. Vlastní stabilizace probíhá snímáním většího rozlišení obrazu a na základě změn náklonu drona, tedy i změnou náklonu obrazu, je softwarově korigován výřez ve snímku, který je zaznamenáván. Dalším způsobem je využití tzv. rybího oka. Obraz je tímto způsobem zaznamenáván cca 180 stupňů od středu a softwarově je zajištěna stabilizace úpravou výřezu v tomto obraze.

3.1.2.8 Podle nosnosti

V této oblasti je zaveden termín MTOM (Maximum takeoff mass), který určuje celkovou hmotnost drona včetně kamery, gimbalu, baterií atd. Nosnost je definovaná jako část MTOM a jedná se zpravidla o gimbal a kameru. U většiny dronů se poměr nosnosti k MTOM pohybuje kolem hodnoty 1/3, tedy celková váha kamery a gimbalu (definováno jako nosnost) je 1/3 celkové hmotnosti UAV. Tento poměr se může lišit v závislosti na typu UAV, jeho požadovaných vlastnostech, výběru kamery, gimbalu atd. Obecně platí, že s nižší celkovou hmotností UAV se zvyšuje stabilita, ovladatelnost a celková doba letu. U zařízení s velmi lehkou konstrukcí se může tento poměr pohybovat na úrovni 1/2, je tedy možné použít kvalitní fotoaparát, který je zpravidla těžší. (2)

3.1.2.9 Podle celkové hmotnosti

Celková hmotnost UAV, respektive MTOM, je daná součtem všech komponent osazených na UAV. Výčet všech součástí obsažených pod pojmem MTOM je: *„rám, podvozek, motory, vrtule, baterie, regulátory, řídicí elektronika, přijímač, ochranný kryt, kabeláž, vysílač telemetrie + anténa, video vysílač + anténa, FPV kamera a kompletně vybavený gimbal včetně kamery.“ (2 str. 188)*

V kategorii komerčních dronů se celková hmotnost při využití vysoce kvalitních komponent může pohybovat až v desítkách kilogramů. Samozřejmě takovýto dron není pro běžné

uživatele cenově dostupný. Pro běžné uživatele se hmotnost drona pohybuje v řádech jednotek kilogramů.

3.1.2.10 Dostupové výšky, vzdálenosti a váhy

Legislativa ČR dělí tuto kategorii na několik prostorů, která mají vlastní omezení. Omezení je dáno maximální hmotností drona, od které se dále odvodí možná maximální povolená výška. Tyto pravidla může dále upravovat Úřad civilního letectví.

Vzdušný prostor G

Jedná se o třídu vzdušného prostoru do 300 metrů skutečné výšky nad terénem (AGL) mimo CRT řízení letišť.

Letištní provozní zóna (ATZ) neřízeného letiště

Jedná se o prostor v poloměru 5,5 kilometrů od středu letiště. Jsou zde dostupné služby AFIS nebo RADIO. V tomto prostoru je pilot nucen držet se podmínek stanovených provozovatelem letiště. Neurčí-li provozovatel jinak, tak platí, že let bezpilotního letadla a modelu letadla s maximální vzletovou hmotností 0,91 kg může být prováděn bez koordinace s uvedenými službami, ale pouze do maximální výšky 100 metrů nad zemí a mimo ochranná pásma daného letiště. Těžším strojům, nebo strojům s požadovanou výškou letu nad 100 metrů, je umožněn let pouze v případě, že je dostupná komunikace s AFIS (Aerodrome Flight Information Service) nebo je zajištěno poskytování informací letištnímu provozu.

Řízený okrsek (CTR a MCTR) letiště

Do výšky 100 metrů nad zemí, s výjimkou povolení příslušného stanoviště řízení letového provozu a v horizontální vzdálenosti větší než 5 500 m od vztažného bodu řízeného letiště, s výjimkou, kdy tak povolí ÚCL nebo v případě leteckých prací a leteckých veřejných vystoupení na základě koordinace s příslušným stanovištěm řízení letového provozu a provozovatelem letiště. Let bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg může být prováděn v řízeném okrsku bez koordinace i v menší vzdálenosti od letiště, avšak pouze do výšky 100 metrů nad zemí a mimo ochranná pásma daného letiště. (7)

3.1.3 Výhody

Výrazně levnější provoz

Oproti využití pilotovaných strojů se náklady spojené s provozem a pořizovací cenou pohybují ve výrazně nižších cenových rádech. U komerčních dronů je relativně vysoká počáteční investice na koupi stroje oproti následným nákladům na provoz. Náklady následně spojené s provozem se pojí s dobíjením (elektřina), nebo s vhodným palivem v případě dronů se spalovacím motorem. Náklady na jeden let se v případě drona na baterie pohybují v řádu několika korun. Oproti nákladům na pohonné hmoty u strojů, které jsou pilotovány přímo člověkem sedícím ve stroji, jsou tyto náklady u dronů zanedbatelné, jelikož váha a potřebný výkon pro let je u drona mnohem menší. (2)

Další náklady jsou spojeny s nákupem náhradních dílů. Tyto náklady není možné předem přesně vyčíslit, jelikož se pojí jak se zručností pilota, tak s životností jednotlivých součástí a přímo závisí na kvalitě použitých dílů v daném modelu drona.

Snadná manipulace a mobilita

Většina komerčních dronů umožňuje relativně snadnou modifikaci dílů (odpojení a připojení) pro zmenšení velikosti a možnosti převozu (popř. přenosu) drona. U drona typu multikoptéry se zpravidla jedná o možnost odepnutí vrchních vrtulí.

Ve srovnání například se sportovním letadlem pilotovaným z kokpitu jsou rozměry komerčně využívaného drona menší a většinou je možná i snadná manipulace člověkem. Samozřejmě existují i velké drony (většina armádních), které jsou rozměrově mnohem větší než komerční.

Možné použití na špatně přístupných místech

Tato výhoda se týká multikoptér, které dokáží startovat a přistávat kolmo vůči povrchu. Je tedy možné přistávat v místech, u kterých by vzlet nebo přistání dronem typu letoun (viz. Kapitola **Letouny („křídla“)**) nebylo možné.

Online přenos obrazu z dronu na velkou vzdálenost

Nejedná-li se o nejnižší cenovou kategorii dronů, tak drony nabízí možnost přenosu obrazu z kamery upevněné na stroji do ovládacího zařízení. Většinou se jedná o obraz se sníženou kvalitou oproti kvalitě používané pro nahrávání nebo focení. Tímto se sníží velikost

datového toku a obraz je možné přenášet relativně stabilně. Spolehlivost přenosu obrazu je dána kvalitou signálů a může být ovlivněna například vzdáleností, překážkou mezi vysílačem a přijímačem atd.

Tuto vlastnost je možné využít nejen pro snazší ovládání, ale i pro přístup drona do míst, které jsou pro člověka špatně dosažitelné nebo dokonce nebezpečné. A nemusí jít pouze o armádní drony. Příkladem takového použití je monitorování dopravních nehod, objektů při zásahu policie nebo hasičů atd.

Vysoké rozlišení fotografií

Velikost rozlišení se liší podle použité kamery u drona. S rostoucí cenou a lepší vybaveností drona zvyšuje i kvalita kamery. Ovšem i u drona v cenové kategorii kolem 15 tisíc Kč je možné dosáhnout velmi dobrých výsledků v rozlišení kamery (Full HD – 1920x1080) a kvality výsledných fotografií a videí. Jedná-li se o drony, které jsou určeny například pro pořizování detailních snímků z velké výšky, je nutné používat vysoce kvalitní kamery s vysokým rozlišením.

Potencionální výhody při pořizování specifických dat ve spojení s různými mikro senzory. Snímací senzory se zmenšují a zlehčují a lze je adaptovat na drony. Výstupy z těchto senzorů mohou sloužit jako data pro externí zpracování dalšími programy, nebo je možné vyhodnocování přímo během letu k případné korekci samotného letu. Takovým příkladem je určování výšky drona pomocí několika senzorů z důvodu bezpečnosti při selhání jednoho z nich. Dron bere data například ze spodní kamery a ultrazvukového senzoru (také umístěného na spodní straně drona) a na základě vnitřního algoritmu vyhledá hodnoty odhadované výšky i při nepřesnostech jednotlivých senzorů. Tímto dron předchází stavu, kdy náhlá změna odhadované výšky způsobená nepřesností senzoru vede k nevyžádané reakci drona (zvýšení/snížení výkonu motorů, tedy prudké stoupání/klesání).

Nízká hlučnost provozu

V případě drona poháněného bateriemi je hlučnost oproti ostatním leteckým zařízením poháněnými spalovacím motorem zanedbatelná. Jedná se o značnou výhodu u komerčních dronů, které při letu už v řádu desítek metrů není skoro slyšet a je možné létat i nad obydlenými oblastmi v relativně nízké výšce, aniž by si místní obyvatelstvo mohlo stěžovat

na hluk. Těto výhody může být v budoucnosti využito pro doručovací služby, které jsou v současné době testovány i v USA společností Amazon.

Možné využití i v určitých interiérech

Část dronů je navržena pouze pro let v exteriéru, jde o drony typu letoun, které se pohybují vysokou rychlostí a není tak možný pohyb ve vnitřních prostorech například budov. Dále jsou drony, které mohou létat i v interiérech. Tyto drony jsou typu multikoptéry a jejich ovladatelnost v omezeném prostoru je mnohem vyšší. U komerčně vyráběných dronů je u modelů určených pro interiér a exteriér běžné rozšíření drona o součást, která zabraňuje většině poškození při kontaktu a překážkou. Tato součást slouží hlavně k ochraně vrtulí, které je možné i velmi krátkou nepozorností pilota poškodit. Kryt ovšem neslouží pouze k zabránění poškození drona, ale hlavně jako bezpečnostní prvek. Let v interiéru je mnohem náchylnější k nárazu do objektů ať již chybou pilota nebo například chybou v senzorech.

Snadná výměna náhradních dílů

S rozšířením do komerčního sektoru a maximálním přizpůsobením ceny pro běžné uživatele, které je způsobeno velkou propagací této nové technologie, se z dronů stává spotřební elektronika podobná mobilním telefonům. Výrobci na velkou poptávku reagují vysokým objemem vyrobených kusů a náhradních dílů, které lze při velkém množství prodávat stále za výhodnou cenu. V naprosté většině se jedná o vrtule, které jsou při neprofesionálním ovládní lehce poškoditelné při kontaktu s objektem během letu. Dále se prodávají různé typy ramen, tyčí, držáků, motorů, elektroniky, baterií a ochranných krytů.

3.1.4 Nevýhody

Dolet

Jelikož jsou drony v současné době většinou pilotovány přímo vysílacím zařízením (vysílačka nebo v případě některých dronů i mobilní telefony a tablety), tak je jejich dolet limitován dosahem signálu vysílaného těmito zařízeními, který se pohybuje většinou v řádech jednotek kilometrů. Dalším limitujícím faktorem je výdrž baterie, tedy omezený čas letu.

Letový čas

U běžných komerčních dronů se maximální čas letu pohybuje od několika minut až po desítky minut. Doba letu je dána konstrukcí drona a kapacitou jeho baterií. Dražší modely zpravidla vydrží delší dobu letu na jedno nabití baterie.

Výjimkou jsou některé armádní drony, u kterých se doba letu se pohybuje až kolem 24 hodin. Tyto drony nevyužívají jako zdroj energie baterie, ale spalovací motor.

„Současně se začínají vyvíjet drony, které by mohly vydržet ve vzduchu třeba až čtvrt roku a pohybovat se ve výšce 18-24 km nad zemí a šířit např. internetové připojení.“ (2 str. 36)

Nízká nosnost

Nosnost dronů je dána výkonem jejich motorů. Většina komerčních dronů je stavěna tak, že jejich nosnost je dána jejich celkovou váhou, další skupinou komerčních dronů jsou takové, na které je možné přidávat další příslušenství. Obecně ale platí, že vyšší celková hmotnost drona vede ke kratší době letu, jelikož motory musí spotřebovávat větší množství energie. Nosnost se u většiny komerčních dronů pohybuje maximálně v jednotkách kilogramů.

Existují typy dronů s mnohem vyšší nosností, které jsou vyráběny pro specializované požadavky zákazníků. Například jde i o experiment, ve kterém dron zvedne dospělého člověka několik metrů do výšky a takto uletí několik desítek metrů.

Nejednotná mezinárodní legislativa

Jelikož se jedná o relativně novou technologii, je i legislativa s ní spojená nejednotná. V případě prodeje drona jako zboží zákazníkovi, veškerou zodpovědnost za provoz drona přechází na nového majitele a na něj se vztahují všechny povinnosti spojené s tím spojené. Větší problém je ovšem v případě využívání nadnárodních firem nabízejících služby zákazníkům (např. posílání balíků). V tomto případě je velkou bariérou vstupu na trh každého dalšího státu nejednotná mezinárodní legislativa. Rozdíly jsou například i mezi zeměmi Evropské unie.

„V Evropské unii a USA vzniká jednotný legislativní proces, který by měl v budoucnu umožnit stejné podmínky využívání dronů, a harmonizovat tak legislativu v Evropské unii. Největším omezením v současnosti je, že drony nemají tzv. odpovídače (systém, který mají všechny klasické letecké prostředky), které by identifikovaly svoji přesnou polohu v letovém

prostoru pro Řízení letového prostoru, a nejsou tak viditelné na radarech a mohou být potenciálním rizikem pro pilotované prostředky.“ (2 str. 36)

Z důvodu absence odpovídače je při letu vyžadován neustálý vizuální dohled pilota nad ovládaným strojem. Toto omezení jde proti vývoji v oblasti ovládání dronů a jejich možnému využití letových plánů nebo dokonce autonomního letu.

3.1.5 Možnosti využití dronů

Drony, jakožto relativně nová technologie, mají již v současné době velkou různorodost v rámci jejich využití. K využívání dronů, oproti jejich alternativám, přispívá hlavně jejich relativně nízká cena a velká flexibilita. Na trhu je celá řada modelů a pro každý specifický účel jsou výrobci schopni navrhnout unikátní dron s přesnými požadavky na jeho finální vlastnosti.

Oblast, ve které mohou drony obzvlášť vynikat jsou takové situace, které jsou pro člověka nebezpečné a dron slouží jako přístroj pro zjištění aktuálního stavu a jeho následného vyhodnocení pilotem z bezpečné vzdálenosti.

V současné době je největší růst trhu s drony v komerčním sektoru dán jejich vstupem do oblasti zábavní elektroniky. Mimo firmy, které drony navrhují a vyrábějí za účelem zisku, jsou drony vyvíjeny a programovány i na akademické půdě za účelem výzkumu. (2)

3.1.5.1 Letecké fotografie

V případě, že je dron využívám primárně ke snímkování, není potřeba vysoce kvalitních zavěšení, které by pohlcovalo vibrace, ale pouze fotoaparát úměrně kvalitní k požadované kvalitě výsledných fotografií. Většina dronů jsou již dodávány s kamerou, která je pro tento účel dostačující pro běžné uživatele, případně u některých modelů je možná výměna za kvalitnější kameru.

Jedno z možných využití jsou umělecké fotografie krajiny, které při vyfocení z vyššího bodu působí netradičně, a hlavně zachycují celkový ráz krajiny. Pro profesionální fotografy je velkou výhodou možnost využít k této činnosti drona, který neomezuje místo, ze kterého mohou být snímky pořizovány a je tedy čistě na uživateli, odkud provádí focení. Uživatel následně dokončí úpravy fotografie pomocí desktopového softwaru.

Tyto snímky mohou být následně použity k propagaci měst, kulturních památek a přírody. Dalším využitím focení z drona může být dokumentace vývoje stavebních prací, které je v případě výškových budov, těžké provádět bez drona. Některé typy kamer dronů jsou vybaveny tzv. rybím okem a snímkování je možné provádět až ve 180 stupních kolem středu obrazu. (2)

3.1.5.2 Letecká videa

Záznam videa pomocí drona, na rozdíl od pouhého pořizování fotografií, vyžaduje stabilizaci kamery eliminující nechtěné náklony a vibrace. Toho je zpravidla dosaženo připojením závěsu (gimbalu). Ten zároveň slouží pro ovládání kamery připevněné k dronu. Stabilizaci je možná při vyšším rozlišení provádět i softwarově. V případě gimbalu je u profesionálních dronů doporučeno ovládání pilotem, který ovládá vlastní pohyb drona, a operátorem, který veškerou pozornost soustředí k ovládání kamery a zajištění tak plynulého sledování scény.

Letecké video z dronů lze využít podobně jako letecké fotografie například pro:

- *„Filmové účely*
 - *Film, dokumenty, videoklipy*
 - *TV a přímé přenosy*
- *Marketingové účely*
 - *Letecká promo videa přírody, památek, areálů, obcí, měst, akcí*
 - *Reklama*
- *Dokumentace stavu*
 - *Letecká videa průběhů staveb, přírodních událostí apod.*
 - *Letecké natáčení v určité časové periodě*
- *Online streamování obrazu*
 - *Natáčení situací v reálném čase a další sdílení videa*
- *Technické aplikace*
 - *Video slouží jako zdroj k další práci, například k rozsekání videa do jednotlivých fotek (frames) nebo obrazovým analýzám“ (2 str. 45)*

V současné době se stále více využívá dronů pro filmové účely. Hlavní výhodou využití v této sféře je nižší cena oproti dříve využívaným helikoptérám. Další výhodou je relativně malá velikost drona, který je schopen letu nízko nad zemí nebo blízkého průletu kolem objektů. Toto nebylo dříve možné kvůli velikosti helikoptéry a případnému ohrožení posádky při těchto manévrech. Drony se stále více využívají i pro reportáže a přímé přenosy v rámci zpráv, přičemž redaktor vede rozhovor o určitém objektu a štáb přepíná na záběry z drona, který natáčí komentovaný objekt v reálném čase reportáže.

Velmi kladného ohlasu se dostalo záběrům z dronů i při Zimních olympijských hrách v Soči v roce 2014. Drony byly použity při natáčení přímých přenosů lyžařských a snowboardových závodů. Tímto pořadatelé využili alternativy ke klasickým kamerovým lanovkám a divákům dopřáli originální záběry. (2)

3.1.5.3 Letecký monitoring

Jak již bylo naznačeno v kapitole 3.1.3 Výhody, drony jsou v současné době využívány pro monitoring objektů, které jsou z nějakého důvodu pro člověka špatně dosažitelné, nebo je přítomnost v jejich okolí nebezpečná. Drony tedy mají stále vyšší zastoupení při řešení nebezpečných krizových situací.

V ČR jsou drony policií také využívány. Například Středočeská policie v roce 2016 pořídila speciálně upravený dron, který vydrží v letu cca 40 minut. Tento dron je osazen běžnou kamerou, kamerou s nočním viděním a termovizí. Další unikátností tohoto modelu jsou tiché motory. Dron má být využíván při pátracích akcích a monitorování událostí většího rozsahu, jako jsou například požáry. Tento dron byl vyvinut specialisty Vojenského ústavu v pražských Kbelích na zakázku Policie ČR a nese označení BRUS (bezpilotní rotorový univerzální systém). (8)

Drony jsou využívány dále pro monitorování protestů a veřejných shromáždění. Jejich úloha spočívá v monitoringu davu, ve kterém může dojít ke zranění. Policii poskytují celkový obraz situace a umožňují tak efektivně rozmístit bezpečnostní složky.

Dále jsou drony využívány pro kontrolu vizuálního stavu sloupů vysokého napětí, vysokých komínů, výškových budov. Dron sice „pouze“ vizuálně zkontroluje možný defekt, tím výrazně ušetří čas při fyzickém prověřování a poskytne tak více času na řešení nalezených problémů. (2)

Drony s termovizí se využívají také pro monitorování zvířat. V Africe se takto sledují zvířata, převážně v noci nebo v nepřehledném terénu. K tomuto účelu se drony nevyužívají pouze v zahraničí, ale i v ČR například v rámci projektu Senoseč. Jedním z možných navrhovaných řešení byl monitoring výskytu zvěře před sečením. Tímto by mělo být zabráněno zraněním nebo dokonce úhynu zvěře při sečení.

3.1.5.4 Mapování

Oproti běžným metodám pořizování leteckých map jsou drony využitelné díky několika výhodám. První z nich je možnost okamžitého pořizování mapy z kteréhokoliv místa na rozdíl od mapování pomocí letadla nebo satelitu, kde je téměř nemožné reagovat na nastalou situaci okamžitým pořízením aktuální mapy. Další výhodou je vyšší kvalita pořizované mapy. I při použití vysoce kvalitních kamer se při mapování z letadel dosahuje maximální kvality 20 cm na pixel (při ideálních podmínkách až 3 cm na pixel), v případě satelitů jde cca o 50 cm na pixel. V případě použití drona je možné dosáhnout obrazového rozlišení až 1 cm na pixel. To je dáno hlavně možností multikoptéry stabilně a pomalu přelétat nad mapovaným objektem a vytvářet tak z nižší výšky kvalitní snímky. (2)

„Letecká ortofotomapa je pouze jedním z mnoha možných výstupů mapování pomocí dronů. Dále je možné pomocí moderních metod fotogrammetrie a dálkového průzkumu ve speciálních softwarech vytvářet digitální modely povrchu a terénu. Vznikají tzv. bodová mračna, která do jisté míry mohou nahradit geodetické zaměření a současně jsou podkladem pro vyhotovení 3D modelů krajiny.“ (2 str. 54)

Mimo klasický výstup ve formátu 3D modelu krajiny je možné tento model dále rozšířit například o 3D model připravovaného projektu, který je přímo zasazen do nasnímané krajiny a věrně tak zobrazuje budoucí realitu a zásah projektu do prostředí.

„Vedle dronů určených čistě pro zábavu představují drony určené pro mapování jeden z největších objemů prodeje všech mezinárodních výrobců dronů a jejich využívání pro mapování neustále roste.“ (2 str. 55)

3.1.5.5 Speciální aplikace ve spojení se speciálními senzory

Trendem je zmenšování veškeré elektroniky, a právě to velmi pomohlo nástupu dronů. Současné technologie umožňují zmenšení senzorů a tím pádem i jejich nižší hmotnost, která

je pro efektivní nasazení u dronů kritická. Před několika lety bylo nemyslitelné využívat některé senzory u dronů právě kvůli těmto faktorům. Využití dronů je levnější alternativou k využití letadel nebo satelitů, které také obsahují některé z možných senzorů.

Kromě běžné kamery mohou drony také obsahovat termovizní kamery pro detekování objektů na základě tepla, které vyzařují. Jejich využití není pouze v hledání „živých cílů“, ale také například při testování úniků tepla budov. Dalším typem kamery je tzv. multispektrální nebo hyperspektrální. Ta dokáže pořizovat záznam až v desítkách spekter, která jsou následně vyhodnocována. Tyto výstupy mohou obsahovat například tzv. normalizovaný vegetační index, který na základě pořízených snímků poskytuje zemědělcům informaci o tom, které části pole je třeba hnojit a jakým množstvím. Na základě GPS souřadnic při průletu je poté pomocí specializovaného softwaru možné tento výstup poskytnout stroji, který následně automaticky dávkuje množství hnojiva na základě aktuální GPS pozice. (2)

Po havárii jaderné elektrárny Fukušima v roce 2011 byly použity drony se speciálními senzory pro měření úrovně radiace. Jedná se o ideální příklad, kdy přítomnost člověka u takového měření je životu nebezpečná, proto byl použit dron. (9)

3.1.5.6 Transport a logistika

Firmy zabývající se transportem a logistikou mají velký zájem na vývoji a využívání dronů v oblasti jejich podnikání. Hlavní překážkou je nepružnost reakce legislativy na tuto novou technologii hlavně v oblasti autonomního letu. Zákon požaduje při letu přímý dohled pilota na letící stroj, tedy v případě autonomního letu, kdy dron není řízený pilotem, ale vnitřním algoritmem tento požadavek není splněn. Na druhou stranu legislativa může regulovat obecná pravidla pro letový provoz, pod který spadá také dron, ale pro interní využití v rámci pozemku podniku tyto omezení neplatí.

Drony mohou být použity pro inventarizaci skladu. To slouží ke snížení nákladů na zaměstnance a zvýšení efektivity v rámci pohyblivosti dronů. Na bázi časové kontroly může být prováděna inventarizace pomocí speciálně upraveného drona, který pomocí kamery dokáže přečíst všechny dostupné formáty čárových kódů a na základě jejich načtení a propojení s aktuální pozicí poskytne výstup o lokaci a typu skenovaného zboží dalšímu skladovacímu softwaru. (10)

V současné době jsou testovány autonomní roboti pro přepravu zboží, přičemž možná ujetá vzdálenost těchto robotů není vysoká, ale dopravci tuto nevýhodu eliminují využíváním nákladního auta, které na určité místo doveze „flotilu“ autonomních robotů, roboti jsou naplněni zbožím a z tohoto bodu vyjíždí autonomně každý k požadovanému cíli. Po doručení dodávky se vrátí do bodu, ze kterého byly vypuštěni a provádějí další operace (nová dodávka, dobití baterie nebo naložení pro přesun do další oblasti). Pro tento typ úkonu bude možné využít i drony, které v nedaleké budoucnosti takto využívány budou, ihned po vyřešení problémů s legislativou v této oblasti.

Drony představují obrovskou možnost pro přesun zboží v oblastech, které jsou málo obydlené a vzdálenosti mezi vesnicemi jsou veliké. Takovým příkladem je využití v afrických zemích. Konkrétně ve Rwandě je spuštěn program, který zajišťuje přepravu různého zdravotnického materiálu, například krve, u které je nutný rychlý transport na místo určení. Tento dron je typu letoun a po dosažení požadované pozice zboží vypustí ve formě malého balíku, který se padákem snese na zem, odkud ho vyzvednou místní lékaři. Tímto způsobem je naplánováno mezi 50 až 150 dodávkami krve za den v rádiusu 75 kilometrů na jedno nabití. (11)

Originální způsob využití „transportu“ implementovala Singapurská restaurace. Drony jsou zde využity místo číšníků pro roznos pití a jídla po restauraci a umožňují přenášet náklady o maximální váze cca 2 kg. Tento případ je ovšem spíše marketingová akce než implementace sloužící k širšímu využití v komerčním sektoru. Na druhou stranu to ukazuje na fakt, že se Singapur, současně jako řada dalších asijských zemí, snaží o maximální možnou podporu inovací a nabízí například v rámci Productivity and Innovation Credit programu možnost až 400 procent daňového odpočtu nebo 60 procent v hotovosti výplatě, kterou by měla společnost investovat do IT nebo zařízení pro automatizaci. (12)

3.1.5.7 Zemědělství

V této oblasti se využití dronů zatím spíše rozrůstá. Zastoupení už ovšem má v USA a několika zemích v Evropě. Nabízí se zde porovnání mezi využitím satelitů, pilotovaných letadel a bezpilotních dronů s ohledem na jejich přínosy v oblasti zemědělství. Jak již bylo řečeno v kapitole 3.1.5.4 Mapování rozdíly mezi kvalitou snímků jsou značné a jejich využití pro specifické účely se odvíjí od požadavků klienta. Drony v této oblasti vynikají

vysokou kvalitou snímků za nízké provozní náklady. Výhodou kvalitních snímků je možnost využití NIR (Near Infra-Red). Vegetace obecně velmi dobře odráží infračervené záření. Oblasti s vysokou úrovní absorbování viditelného světla neabsorbují NIR. Díky tomu lze na snímku určit jednotlivé skupiny listů, které absorbují menší množství viditelného světla a jsou tedy poškozené. Tímto mohou zemědělci reagovat na oblasti poškozených listů, například z důvodu nemoci nebo výskytu škůdců, adekvátním řešením. (13)

3.1.5.8 Zábava

Za největším rozšířením mezi běžné uživatele stojí relativně nové kategorie dronů určených pro zábavu. Dříve byly rozšířeny drony, které používaly většinou úzké skupiny lidí, většinou modeláři, kteří k tomuto typu zábavy měli blízko. Ovšem v posledních letech se objevily drony, které jsou cíleny na mnohem širší cílovou skupinu lidí, tedy drony určené pro zábavu běžného uživatele, které známe dnes. Za rozšířením těchto dronů stojí zájem uživatelů o tuto novou technologii a schopnost zaujmout uživatele nesrovnatelným zážitkem pohledu z drona, který je unikátní a uživatelé ho dokáží ocenit. Dalším faktorem, díky kterému se v poslední době trh s komerčními drony zaměřenými na zábavu velmi rozrůstá je cena, která při výrobě velkého množství dronů klesá a je tak více dostupná pro běžného uživatele. Cena relativně dobře vybaveného drona se může pohybovat kolem 15 tisíc, což je přirovnatelná cena ke smarphonu vyšší třídy a uživatelé jsou schopni tuto cenu akceptovat. Dalším faktorem je dostupnost, která v posledních letech roste v závislosti na poptávce po zboží a uživatelé nemusí objednávat drony složitě ze zahraničí, ale mohou přímo vybírat z místních internetových nebo kamenných obchodů v dané zemi po odborné konzultaci s personálem.

Uživatelé mohou drony v této kategorii využívat hlavně pro pořizování fotografií, záznam videa a požitky z řízení. Dále je možný průzkum okolí z pohledu drona hlavně díky online přenosu videa z drona do ovládacího zařízení.

U většiny těchto dronů je možné ovládání pomocí chytrého telefonu, případně tabletu, dále dálkovým ovládáním nebo případně kombinací chytrého telefonu připojeného k přídatné zesilovací anténě, kde chytrý telefon funguje hlavně pro zobrazení výstupu kamery drona a hlavních údajů o letu (např. výška, vzdálenost od startovního bodu, rychlost, síla signálu,

stav baterie). Tento způsob umožňuje mnohem větší vzdálenost ovládní díky externím anténám.

Kromě tohoto využití dronů, tedy pro zábavu běžných uživatelů, existují i speciální závody dronů. Pro tyto závody se většinou používají běžné menší modely nebo přímo upravené, které kladou hlavní důraz na rychlost a obratnost při letu. U většiny těchto závodů se využívá tzv. FPV (First Person View), tedy technologie, která umožňuje přenos obrazu přímo do speciálních brýlí, namísto do zařízení, které ovládá dron. Závody jsou pořádány na tratích, které jsou zabezpečeny proti možným zraněním jak diváků, tak závodníků. Většinou se jedná o let v lese mezi stromy nebo v připravené dráze ohraničené sítěmi, které zabraňují dronům opustit vyznačenou dráhu.

Nejnovějším pokrokem v oblasti dronů určených pro zábavu je dron, který létá autonomně kolem uživatele. K tomuto využívá speciální trekovací přístroj, který má uživatel připnutý na zápěstí obdobně jako hodinky. Tento dron je určen hlavně k pořizování záznamu při sportu, přičemž sám sleduje a nahrává uživatele, který se plně věnuje sportovní aktivitě. Ačkoliv jde o zajímavý nápad a výborné provedení je třeba upozornit, že tento typ drona by mohl mít problém s legislativou v jednotlivých zemích. Uživatel sice teoreticky má celou dobu dron pod přímým dohledem, ale nemůže ho ovládat a dron by tak při kontaktu mohl způsobit škodu na majetku nebo dokonce zdravotní újmu.

3.1.6 Jednotlivé součásti dronu

V současné době se vyrábí velké množství typů dílů dronů, které většinou nejsou mezi sebou kompatibilní (výrobci se snaží tlačit uživatele ke koupi originálních náhradních dílů poskytovaných přímo výrobcem). Hlavním rozdílem je rozdělení na dron typu multikoptéry a letoun. Jednotlivé součásti jsou v rámci kategorie u většiny dronů podobné a liší se většinou pouze kvalitou a způsobem provedení. U většiny součástí je kladen velký důraz na co nejnižší celkovou hmotnost drona pro maximální letový čas. Jelikož se práce nezabývá stavbou vlastního drona, není potřeba jednotlivé součásti popisovat do velkých detailů, na druhou stranu je potřeba popsat alespoň základní typy součástí drona pro pochopení další části práce.

3.1.6.1 Kryt

Drtivá většina dronů je opatřena krytem, který slouží jako ochrana choulostivé elektroniky před vnějšími nečistotami jako je například prach. Zpravidla je tato elektronika uložena uprostřed těla drona kvůli lepší vyváženosti. Další funkcí krytu je zlepšení aerodynamiky. V případě testovacích dronů se kryt nemusí vždy používat pro šetření času při častých úpravách.

3.1.6.2 Ramena

Ramena slouží k uchycení motorů a kabeláže k nim. Mohou zároveň sloužit jako přistávací podvozek. Ramena jsou nastavena v takovém úhlu, který poskytuje nejvyšší stabilitu při letu. Přičemž ve většině případů se jedná o tvar písmene X, ale v poslední době se objevují modely v rameny do tvaru písmene H. (14)

U některých typů dronů je možné ramena složit k tělu drona a umožnit tak snazší přesun drona na místo startu. Většina dronů je osazena jedním motorem na každém rameni, ale existují i drony se dvěma motory na jednom rameni, přičemž jeden je usazen na vrchní a druhý na spodní straně ramena. Dalším možným využitím je rozdílné barevné označení předních a zadních ramen. Tímto je pilotovi umožněna snazší kontrola směru drona při letu.

3.1.6.3 Podvozek

Podvozky u dronů je možné rozdělit do dvou základních kategorií. Pevné a skládací. Typ podvozku je pro každý typ drona určen na základě požadavků na jeho vlastnosti. Pevný podvozek se vyznačuje menším nebezpečím poškození, zatímco skládací je možné využít při důrazu na skladnost drona při převozu. Mimo zřejmou funkci pro přistávání slouží podvozek také pro ochranu zařízení na spodní straně drona, konkrétně se většinou jedná o kameru, která je připevněna k dronu pomocí gimbalu.

3.1.6.4 Vrtule

Vrtule jsou připevněny k motoru a umožňují letu drona. Výsledné vlastnosti drona (rychlost, hbitost) jsou z velké části ovlivněny správně navrženým tvarem vrtulí. Obecně platí, že při vyšší hmotnosti drona je třeba použít vrtule o větším průměru, které zajišťují větší vztlak.

Bohužel, na rozdíl od pilotovaných prostředků, není u dronů možné za letu měnit úhel náběhu vrtule a tím tak měnit sílu tahu. Z tohoto důvodu se u vrtulí výrobci snaží přiblížit co nejvíce ideálnímu úhlu náběhu vrtule pro zajištění nejlepších vlastností drona. (2)

„U dronů typu multikoptéry je potřeba použít pravotočivé i levotočivé vrtule. Ukazatelem je průměr a stoupání. Ve většině případů jsou tyto veličiny udávány v palcích ve tvaru průměr x stoupání. Stoupání jednoho palce znamená, že vrtule při jedné otáčce urazí trasu o této délce. Vrtule, u nichž poměr průměru a vysokého stoupání zaručuje rychlé stoupání, jsou vhodné pro vysoké rychlosti letu a často nacházejí uplatnění u rychlých modelů letadel. Vrtule s poměrně malým stoupáním se vyznačují vysokým tahem a častěji nacházejí využití u modelů akrobatických letadel. Tyto vrtule se používají i u multikoptéry.“ (14 str. 22)

Některé typy dronů jsou opatřeny skládacími vrtulemi, které jsou o něco těžší než klasické pevné vrtule, ale na druhou stranu umožňují snazší manipulaci při převozu.

3.1.6.5 Motory

V kategorii komerčně využívaných dronů jsou ve většině případů použity motory s elektrickým pohonem. Ačkoliv oproti spalovacím motorům mají několik nevýhod, jejich nízká hlučnost a lehčí provedení jsou hlavními faktory masivního použití v této kategorii. Velkým průlomem byly tzv. bezkartáčové motory, které jsou v současné době použity u cca 90 % celkového množství modelů letadel využívajících elektrický pohon. (14)

U dronů poháněných bateriemi se využívají střídavé nebo stejnosměrné motory. Velikost a síla motoru se určuje podle požadovaných vlastností, přičemž hlavním faktorem je hmotnost dronu. Silnější motory mají větší spotřebu energie, tudíž dron je potřeba opatřit baterií o větší kapacitě.

„Změnou velikosti motoru, počtu cívek a magnetů a s rozličným počtem závitů je možno měnit otáčivý moment, maximální počet otáček i výkon.“ (14 str. 21)

Výhodou motorů u drona je, že vzduch proudící od vrtulí při letu je dostatečný pro chlazení motoru a není tudíž potřeba přídavné chlazení i při maximální zátěži.

3.1.6.6 Řídící elektronika

Jedná se o nejdůležitější část drona, která obsahuje know-how jednotlivých výrobců. Ti určují, které součástky budou v dronu obsaženy a jakým způsobem bude probíhat ovládání

drona. Hlavním úkolem řídicí elektroniky je vyhodnocení dat z jednotlivých senzorů a na jejich základě přidávat, respektive ubírat, výkon jednotlivých motorů k regulaci pohybu dronu. Výkon jednotlivých motorů je upraven na základě uživatelských vstupů, ale hlavně na základě algoritmu, který zajišťuje stabilitu drona. Díky tomu je pilot schopen soustředit svou pozornost na prováděný manévr a stabilitu drona přenechává na řídicí elektronice. (14) Je zde obsažen například FC (Flight Controller), tedy přijímač signálu z dálkového ovladače, který posílá data k dalším součástkám k provedení akce požadované uživatelem. Dále je zde IMU (Inertial Measurement Unit), která slouží k zachycení pohybu dronu a v případě, že pohyb není vyvolaný uživatelem, ale například působením větru, je dron schopen reagovat a toto vyvedení z pozice regulovat. Běžnou součástí moderních dronů je i GPS senzor, který umožňuje příjem GPS signálu a na základě tohoto vstupu je dron schopen regulovat pozici, letět podle předem definovaného letového plánu a implementovat funkci pro návrat do startovací polohy v případě ztráty signálu dálkového ovladače. Všechny senzory jsou umístěny na základní desce, která slouží k distribuci mezi jednotlivými výstupy senzorů a výpočetní jednotkou.

3.1.6.7 Dálkové ovládání

Jde o zařízení, které je přímo ovládané pilotem ze země a pomocí signálu vysílaného daným zařízením je dron ovládán. Většinou se jedná o zařízení podobné vzhledem a ovládáním gamepadu. Někteří výrobci nabízejí i kombinaci připojení k chytrému telefonu pro přenos videa z drona a umožnění tak snazšího letu. Relativně novou možností ovládání drona je pouze pomocí chytrého telefonu nebo tabletu.

3.1.6.8 Baterie

Nejběžnější typ baterie pro komerční drony je lithium polymerová baterie. Její výhodou je nízká hmotnost, vysoká kapacita, minimální samovybití, dlouhá životnost, velká výkonnost a možnost rychlého nabíjení až čtyřnásobkem kapacity článků. Nevýhodou je ovšem vysoká pořizovací cena. Baterie je doporučeno nevystavovat teplotním extrémům, které mohou snížit kapacitu baterie nebo ji dokonce poškodit (většinou se jedná o „nafouknutí“ baterie).

Zajímavostí je řešení baterií u drona firmy DJI. Jednotlivé články baterie nejsou přidělané pevně na sobě, ale každý v jednotlivém plastovém krytu, díky kterému je zajištěna cirkulace vzduchu mezi těmito články a tím tedy i chlazení. (14)

3.1.6.9 Gimbal

Jedná se o přístroj, který slouží ke stabilizaci kamery. Gimbal je zpravidla připevněn ke spodní části drona a eliminuje náklon a vibrace drona. Pomocí dálkového ovladače je možné pohybovat gimbalem a tím namířit střed nahrávaného obrazu na požadovaný objekt.

3.1.6.10 GPS

Pomocí GPS senzoru dron přijímá GPS signál, který využívá pro další možné vstupy jako například vytyčení aktuální pozice a její udržení v případě, že uživatel nezasahuje do řízení. Tímto je dron schopen částečně eliminovat působení větru pomocí regulace výkonu motorů. Výstup GPS senzoru je pro ostatní komponenty předán většinou ve formátu zeměpisná šířka, zeměpisná délka, počet kontaktovaných satelitů a případně nepřesnost v lokaci. Pro dobrý GPS signál je potřeba, aby se dron nacházel v exteriéru. Čím větší množství satelitů je s dronem propojeno, tím přesněji dron dokáže určit svou polohu.

Ačkoliv dron většinou obsahuje GPS přijímač, tak by se pilot neměl stoprocentně spoléhat na jeho přesnost, která může být vychýlena nejen objekty, které zastiňují přímé spojení drona se satelitem, ale například i slunečními bouřemi. Pro profesionální použití je tedy doporučeno sledovat Estimated Kp Index a na základě jeho dat rozhodnout o vhodných podmínkách k letu. (14)

3.1.6.11 Videopřenos

Slouží pro lepší orientaci pilota hlavně při větší vzdálenosti od drona. Online záběry z kamery drona se přenáší na dálkový ovladač, tedy na jeho obrazovku, většinou na frekvenci 5,8 GHz. V tomto případě je dron v roli vysílače a dálkový ovladač v roli přijímače. Vzdálenost pro bezporuchový videopřenos je závislá na terénu, ve kterém dron létá. V terénu, kde nejsou překážky mezi dronem a pilotem se většinou jedná až o 1 km. Samozřejmě záleží na výkonu vysílače, který tuto vzdálenost může znatelně prodloužit.

Vlastní přenos videa probíhá většinou ve snížené kvalitě oproti maximální možné, ve které dron nahrává videozáznam do vnitřní paměti. Současně se do vysílače kromě videozáznamu přenáší i další data, která bývají zobrazena pilotovi na obrazovku. Jedná se většinou o vzdálenost, výšku, rychlost, stav baterie a stav GPS signálu.

3.1.6.12 FPV

Jedná se o tzv. pohled z první osoby (First Person View), který je realizován pomocí speciálních brýlí, do kterých se přenáší obraz z přední kamery drona. Využití této technologie je v současnosti převážně pro účel zábavy ve formě soutěží ve speciálních tratích vybavených ochrannými sítěmi.

3.1.6.13 Plánovací software

Pomocí plánovacího softwaru může uživatel předem připravit trasu pomocí GPS souřadnic, kterou dron po odstartování proletí. Využití je možné například při pravidelných průletech kolem sledovaného objektu (zabezpečení pozemku) a provádění mapování určité oblasti.

3.1.6.14 Doplnky

Spektrum nabízených doplňků je široké a například i zruční majitelé drona mohou vytvořit vlastní doplňky na základě individuálních potřeb. Mezi klasické pro přepravu drona patří batohy a kufry. Dalšími velmi užitečnými doplňky jsou LED diody, které je možné připnout například k zadní straně drona pro lepší orientaci pilota v případě větší vzdálenosti při určování směru otočení drona. Někteří výrobci tyto diody implementují přímo do drona v rámci bezpečnostních prvků. Běžným doplňkem jsou kryty vrtulí, které zabraňují poškození při kontaktu drona s cizím objektem. Většina výrobců tento kryt výslovně doporučuje při letu drona v interiéru.

Speciálním typem doplňků jsou padáky, které jsou používány kvůli zabránění většího poškození pádem v případě selhání některé ze součástí. Padáky jsou většinou používány u testovacích strojů, nebo strojů, které spadají do vyšší cenové kategorie. Nosnost těchto padáků se pohybuje až k 40 kilogramům. Pro běžné komerční drony však představují další

zátěž při letu, přičemž výrobci by měli prodávat takové modely, u kterých si jsou jisti spolehlivostí jednotlivých komponent a jejich celkového softwarového vyladění.

3.1.7 Legislativa

Legislativa regulující možnosti užívání UAV, tedy bezpilotních leteckých prostředků, vychází ze zákona regulujícího letectví. Jsou zde ovšem rozdíly, které jsou dány jiným typem přístupu k řízení daných zařízení. Obecně jsou letecké prostředky ovládány pilotem přímo v kokpitu, což dává pilotovi možnost přímé reakce na nastalou situaci. Na rozdíl od drona, který je ovládán ze země, což uživateli snižuje přehled o situaci kolem drona i přes vizuální kontakt a možný přenos videa zaznamenávaný dronem. Hlavním faktorem rozdílnosti legislativy je ovšem kvalifikace pilota. K pilotování klasických letadel jsou piloti školeni a předpokládá se, že pilot zná veškerá pravidla leteckého provozu a dokáže adekvátně reagovat na nastalé situace. Uživatelé dronů v komerčním sektoru ovšem pochází z řad amatérů, přičemž menší část se skládá z amatérských modelářů, kteří jsou částečně seznámeni s pravidly letu, ale stále postrádají kvalifikovaný výcvik. Drony jsou tedy ve většině případů řízeny amatéry a legislativa musí přísně stanovit hranice, aby zabránila „chaosu“ a hlavně možným škodám na majetku, případně na zdraví.

3.1.7.1 Legislativa v ČR

Jak již bylo řečeno, v České republice vychází legislativa ze zákona číslo 49/1997 Sb., o civilním letectví. V rámci tohoto zákona je problematika dronů ošetřena doplňkem X zaměřeným přímo na bezpilotní systémy. Následující kapitola obsahuje důležité výňatky z doplňku tohoto zákona, které se přímo týkají problematiky dronů. Nabyté znalosti z této kapitoly jsou nezbytné k navržení aplikace v praktické části práce. V rámci zákona jsou uvedeny veškeré omezení jak pro amatérské uživatele, tak pro možné využití dronů v komerční sféře. Je zde kladen velký důraz na bezpečnost a ochranu práv osob přímo nezúčastněných letu. Za hlavní nedostatek v legislativě je možné považovat nízkou pružnost v reakcích na inovace v oblasti dronů. Jelikož drony jsou v komerční sféře relativně nová technologie, která se velmi rychle vyvíjí, je pomalý legislativní proces schvalování úprav v zákoně hlavní „brzdou“ v jejich plném využití v komerčním sektoru.

Všechna pravidla uvedená v následující části kapitoly jsou vždy platná, jestliže ÚCL nepovolí jinak. V rámci bezpečnosti je stanoveno, že využitím bezpilotního letadla nesmí být ohroženo životní prostředí, majetek a osoby na zemi i v rámci vzdušného prostoru. Dohled pilota nad řízeným strojem je omezen na let pouze s trvalým vizuálním kontaktem na řízený stroj a případné překážky. V oblasti odpovědnosti je za veškerou škodu způsobenou během letu, bez ohledu na úroveň automatizace letu, zodpovědný pilot, který dále zodpovídá i za předletovou přípravu a kontrolu. Pilot se dále zavazuje k respektování toho, že bezpilotní systém je využíván pouze k účelu, ke kterému byl navržen a vyroben. Vlastník bezpilotního systému, nemusí se tedy jednat přímo o osobu pilota, je zodpovědný za zachování letové způsobilosti navrženého systému.

V rámci modelu drona, který je využit v praktické části práce, je zákonem stanovena povinnost umožnit pilotovi v situaci, která by mohla vést k ohrožení, zasáhnout do průběhu letu nebo let dokonce ukončit. Jestliže je použito automatických systémů letu, není pilot zbaven odpovědnosti ani během autonomního letu. Legislativa dále stanoví prostory a podmínky, ve kterých se jednotlivé typy bezpilotních letadel mohou pohybovat (viz. Kapitola Dostupové výšky, vzdálenosti a váhy).

Z hlediska meteorologických podmínek umožňujících dle zákona let se bezpilotní letadlo může pohybovat pouze vně oblaků v prostoru do 300 metrů nadmořské výšky, případně 1500 metrů horizontálně a 300 metrů vertikálně od mraků nad touto výškou. Bepilotní letadlo nesmí během letu shazovat jakékoliv předměty nejedná-li se o veřejná vystoupení nebo soutěže, u kterých je adekvátně vyřešeno zabezpečení daného prostoru. Tento bod částečně zabraňuje rozšíření autonomních letadel v logistice.

Další bod obsahuje podmínku pro pohyb pilota, který se nesmí pohybovat pomocí technického zařízení během letu bezpilotního letadla. Pilot tedy zůstává staticky na jednom místě a let může probíhat pouze v dosahu jeho vizuálního kontaktu nebo signálu sloužícího k ovládání.

„Provoz bezpilotního letadla musí být v souladu s platnými právními předpisy jako např.: Zákon o nakládání s bezpečnostním materiálem č. 310/2006 Sb., Zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb., Zákon o chemických látkách a chemických přípravcích č. 356/2003 Sb., Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., Zákon o požární ochraně č. 133/1985 Sb., Zákon o vodách č. 245/2001 Sb., Zákon o životním prostředí č. 17/1992 Sb., ve znění

pozdějších předpisů a v souladu se stanoviskem Úřadu pro ochranu osobních údajů č. 1/2013.“ (7)

Dron, který je použit v praktické části práce, se dle legislativy řadí do kategorie výdělečné, experimentální a výzkumné letecké prostředky s maximální vzletovou hmotností v rozmezí 0,91 kg až 7 kg. Z toho důvodu jsou u něj vyžadovány následující záznamy: evidence letadla, evidence pilota, praktický a teoretický test pilota, povolení k létání, označení id štítkem, „failsafe“ systém, provozní příručka a hlášení událostí. V případě nasazení navrhovaného řešení v praktické části práce by pro dostupné UAV platila všechna tyto pravidla.

3.1.7.2 Legislativa v zahraničí

V rámci legislativy je v Německu dána povinnost pilota na pojištění. Toto pojištění předchází možným škodám způsobených během letu. V tomto případě neplatí zákonné pojištění odpovědnosti, ale je třeba sjednat speciální pojištění, které je dokladem k získání povolení ke startu. Absence tohoto pojištění se hodnotí jako přestupek, za které je možné ukládat pilotovi pokutu. (14)

Dále je v Německu kladen velký důraz na ochranu soukromí osob, které mohou být natočeny během letu drona. Toto omezení samozřejmě platí i v rámci ČR. Jedná se o souhlas s focením/natáčením oblasti, ve které se nachází soukromý pozemek nebo jednotlivé osoby. V tomto případě je potřeba souhlasu všech osob, které jsou na zachycených záběrech. (14)

3.1.8 Budoucnost

Tato kapitola slouží k uvedení několika zajímavých projektů, které mohou nastínit možný budoucí vývoj v této oblasti. Hlavním faktorem úspěšného nasazení dronů v budoucnosti je jejich všestrannost. Obrovským plusem je především jejich univerzální dostupnost do většiny míst, například v rámci monitoringu a transportu. Většina velkých technologických firem se snaží originálně a efektivně začlenit tuto technologii do procesů v oblasti jejich podnikání pro zvýšení efektivity a konkurenční výhody.

Očekává se, že právě velké firmy budou průkopníky v rozvoji této technologie, kterou budou implementovat a tím budou zároveň tlačit i ostatní firmy k využívání této technologie do vlastních postupů.

Již dnes je za vizionářský projekt možné považovat snahu o pokrytí internetem rozvojové země. V současnosti je odhadováno, že celosvětově kolem 4 miliard lidí nemá přístup k internetu, což je cca 60 % celkové populace. Jelikož se jedná o obrovský trh potenciálních uživatelů internetu, rozhodla se společnost Facebook realizovat tento projekt a nepřímo tak přitáhnout velké množství lidí k dalším Facebookem nabízeným službám. K realizaci je navržen dron typu letoun s oficiálním označením Aquila, který má rozpětí křídel srovnatelné s Boeingem 737 (cca 30 metrů) a létá ve výšce mezi 18-27 kilometrů nad zemí. Jeho hlavní výhodou je pohon pomocí slunečních panelů umístěných na povrchu drona, které slouží k průběžnému dobíjení baterií a díky velké ploše křídel připomíná styl letu kluzáku. Použitím tohoto řešení umožňuje vydržet v letu více než 3 měsíce bez nutnosti dobíjení. (15)

Obdobný projekt představila i společnost Google, přesněji v rámci projektu X, ve formě balonů, které fungují na podobném principu jako Aquila, tedy jejich hlavní účel je šířit internetové připojení do aktuálně nepokrytých oblastí. Projekt je pojmenován Loon a balony by byly pomocí automatických odpalovačů vypouštěny každých 30 minut pro pokrytí celé vybrané oblasti. Při testovacím letu bylo dosaženo až 187 dní letu. Ačkoliv se nejedná přímo o drony, je zde také kladen důraz na vývoj autonomního systému kontroly a řízení těchto balonů, který je v podstatě také hlavním faktorem u dronů. (16)

Zvláštní kategorií je využití dronů v oblasti kritického řízení. Touto oblastí je myšleno využití v rámci policie, hasičů, záchranných služeb a dalších bezpečnostních složek. Už v současnosti jsou i v rámci ČR implementovány speciální drony do složek policie a tento trend bude s největší pravděpodobností pokračovat. Drony jsou využívány i v rámci hasičských sborů hlavně pro monitoring okolí u zasahované budovy a v budoucnosti na základě úrovně autonomie bude například možné i případné propojení s dalšími roboty, kteří mohou zasahovat na základě dat z dronů a záchranáři se tak vyvarují vlastního ohrožení v případě, že není nezbytná jejich přítomnost přímo v nebezpečných částech zásahu, přičemž dron slouží například k sledování směru rozšíření požáru.

Další kategorií je možnost přepravy zboží pomocí dronů. Využitím speciálního drona, který je připraven na přepravu zboží o maximální předem specifikované hmotnosti je možné velmi snížit náklady a čas dodání. Tento přístup testují velké logistické společnosti jako například Amazon v rámci jeho projektu Prime Air. V tomto projektu jsou zaznamenány úspěšné dodávky plně autonomními drony v USA a Velké Británii. Bohužel tento přístup ve většině

států naráží na nedostatečnou inovaci v legislativě, která zabraňuje využití na většině odvětví.

Jinou kategorií je využití dronů v rámci vnitropodnikových logistických úkonů. V této oblasti nejsou firmy tolik regulovány legislativou ohledně jejich používání a inovace tedy přicházejí rychleji. (17)

Velký potenciál mají do budoucna drony využívané v oblastech nízké míry zalidněnosti určitých regionů pro rychlý převoz materiálů nezbytných pro operace a podobné zásahy (viz. Kapitola 3.1.5.6 Transport a logistika).

Samozřejmě klíčovým faktorem masivního rozšíření dronů do různých oblastí je maximální důraz na bezpečnost. V případě, že drony budou společností přijaty jako běžná součást každodenního života, která minimálním způsobem ohrožuje jeho nerušený průběh, je možné považovat drony za úspěšnou technologii. V současnosti za hlavní riziko rozšíření této technologie lidé považují zásah do soukromí, případně nebezpečí selhání drona a škodu s tím vzniklou. Samozřejmě, že toto riziko nelze stoprocentně vyloučit, pouze ho maximálně minimalizovat. Nástup každé nové technologie (ideálním příkladem jsou automobily) potřebuje čas k akceptaci společností.

3.2 Navigace (GPS)

Jedná se o globální polohový systém (Global Positioning System), který spravuje Ministerstvo obrany Spojených států amerických. Původně se jednalo o čistě vojenský systém, který pomocí skupiny satelitů obíhající nad povrchem země je schopen na základě komunikace zařízení se satelity určit polohu na zemském povrchu. Z počátku byl signál GPS využíván pouze armádou právě proto, že pro signál dostupný pro civilní obyvatele byl záměrně zkreslován a jeho přesnost se pohybovala kolem desítek až stovek metrů. V roce 2000 došlo k vypnutí tohoto zkreslení a přesnost signálu se zvýšila na jednotky metrů. To vedlo k masivnímu rozšíření do množství zařízení, která signál využívají buď přímo k určení polohy, nebo dále pro výpočet dalších parametrů. (18)

Obecně se jedná o velmi finančně náročné projekty, proto jsou spravovány přímo státními institucemi. Systém GPS není jediný svého druhu, je ovšem nejrozšířenější. Dále je v provozu systém GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema), který

spravuje ministerstvo obrany Ruské federace. Důvod menšího rozšíření tohoto systému je malé rozšíření komerčně dostupných přijímačů a nižší přesnost systému. (18)

Dalším globálním polohovým systémem je GALILEO. Jedná se o evropskou alternativu dvou uvedených. Systém měl být provozuschopný v roce 2010, ale aktuálně je jeho spuštění naplánováno na rok 2018. Jeho výstavbu zajišťuje Evropská unie, konkrétně Evropská kosmická agentura (ESA). Systém je budován jako reakce na GPS a GLONASS, které jsou oba primárně vojenské systémy řízeny ministerstvy obrany a v případě konfliktu by mohlo nastat omezení, případně zvýšení nepřesnosti, uvedených systémů. V takovém případě by došlo k masivním komplikacím dalších civilních systémů, které jsou na tyto dva uvedené napojeny. GALILEO má tedy sloužit jako systém primárně určený pro civilní využití. (19) Poslední alternativou je čínský Compass, také známý jako BeiDou. Jedná se o systém, který oproti výše uvedeným nepracuje se satelity na samostatných oběžných drahách, ale satelity jsou tzv. geostacionární, tedy nacházejí se stále nad stejným místem na Zemi. (20)

3.2.1 Segmenty systému GPS

Fungování jednotlivých polohových systémů se v podstatě moc neliší, a proto zde bude vysvětleno fungování systému GPS, jakožto nejrozšířenějšího systému pro určování polohy. Ke správnému určení polohy je potřeba znát přesnou polohu kontrolních stanovišť na zemi a polohu satelitů. Existuje zde tedy rozdělení na tři základní segmenty.

3.2.1.1 Uživatelský segment

Jedná se o zařízení, které slouží k určení aktuální polohy, nemá tedy pevně dané místo a jeho poloha se mění v závislosti na pohybu uživatele. Tato zařízení mohou být určena pouze pro zachycení a zobrazení obsahu zprávy v signálu nebo součástí dalšího zařízení, v současnosti běžně implementováno například v mobilních telefonech.

Do tohoto segmentu patří jak civilní uživatelé, tak armádní sektor. Uživatel využívá GPS přijímač, který zachycuje GPS signál vysílaný v rámci kosmického sektoru. Díky tomuto signálu je možné zjištění aktuální polohy kdekoliv na světě za předpokladu příznivých podmínek a dostatečném počtu družic dostupných pro zařízení. (21)

3.2.1.2 Kosmický segment

Jedná se o skupinu družic, které obíhají Zemi po přesně definovaných drahách. Tyto dráhy se liší výškou a sklonem. Dále se dráhy liší typem (nízké, střední, vysoké, geostacionární, kruhové, eliptické). Jednotlivé satelity vysílají signál, který zařízení z uživatelského segmentu přijímají, přičemž každý satelit vysílá svůj jednoznačný identifikační kód, díky kterému jsou přijímače schopny rozlišit signál jednotlivých satelitů. (18)

Minimální počet aktivních satelitů pro fungování GPS je 24, aby byl zachován požadavek, že v jakoukoliv dobu jsou ze všech míst na zemi dostupné minimálně 4 družice. Rychlost pohybu družic po jejich oběžných drahách je nastavena na 12 hodin na jeden plný orbitální oběh, přesněji 11 hodin 57 minut a 58 sekund kvůli korekci s dobou jednoho denního cyklu Země. Po absolvování dvou celých orbitálních okruhů by se měl satelit nacházet přesně nad stejným místem ve vztahu k zemi. (21) (22) (23)

K 20. lednu 2017 je 31 aktivních družic, což vede znatelně ke zvýšení přesnosti určení polohy. Jednotlivé generace družic GPS jsou rozděleny do tzv. bloků. Pro rok 2018 je naplánován start satelitů z řady Block IIIA. (23)

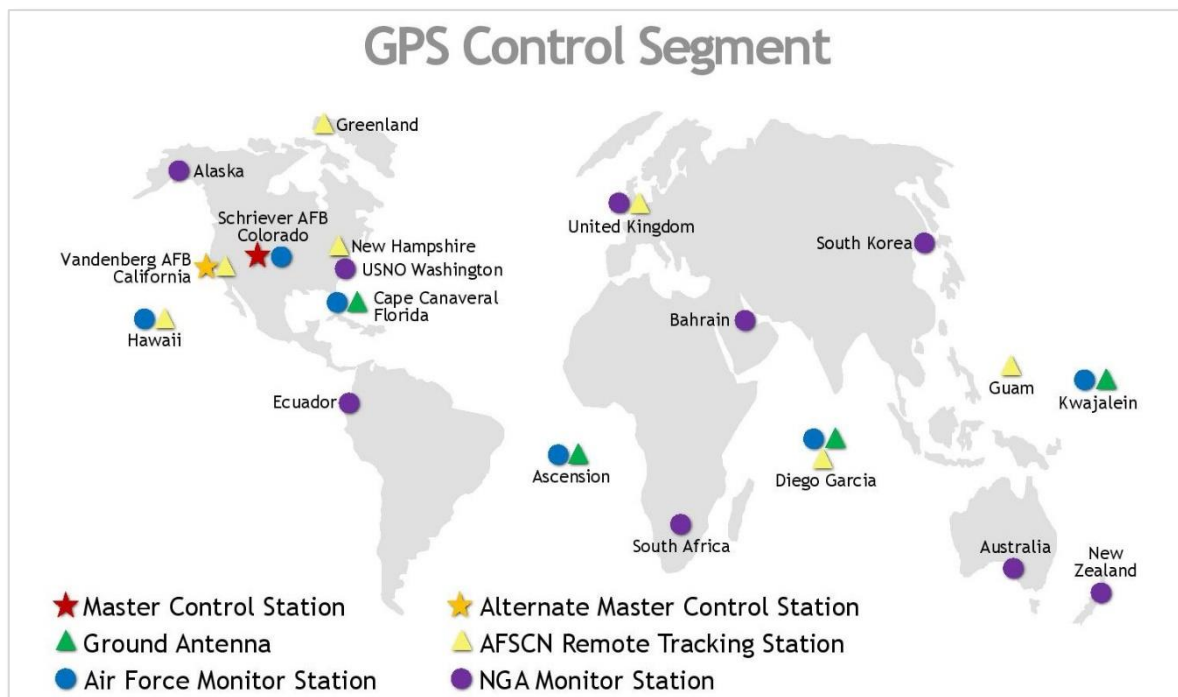
3.2.1.3 Řídící segment

Jedná se o stanice, které jsou umístěny na pevně stanovených místech na zemském povrchu.

Tyto stanice plní řadu úloh:

- „*monitorování signálů družic kosmického segmentu*“
- *vyhodnocování chování družic na oběžných drahách a určování parametrů oběžných drah jednotlivých družic*
- *vyhodnocování chování hodin na družicích a určování korekčních parametrů*
- *sledování a vyhodnocování stavu družic*
- *vysílání aktualizovaných parametrů na družice*
- *manévry družic*
- *údržbu družic*
- *řízení celého systému“ (18 str. 11)*

Jednotlivé stanice řídicího segmentu je dále možné rozdělit na tři typy, přičemž jejich rozmístění je zobrazeno na Obrázek 2 - GPS – Řídící segment:



Obrázek 2 - GPS – Řídící segment

Zdroj: GPS-GOV. Control Segment. [Online] ©2016. Dostupné z: <http://www.gps.gov/systems/gps/control/>

Monitorovací stanice

Na Zemi je rozmístěno celkem 15 monitorovacích stanic. Slouží k monitorování družic, které kolem nich přelétají a zachycená data posílají dále k hlavní řídicí stanici. Jejich rozmístění je koncipováno k maximalizaci času měření signálu z družic. (18) (24)

Hlavní řídicí stanice

Jedná se o hlavní stanici nacházející se v Colorado Springs v USA a jednu záložní, která vyhodnocuje data z ostatních monitorovacích stanic a zajišťuje korekci přesného času ve všech stanicích a družicích. Dále na základě přijatých dat vyhodnocuje přesnou polohu družic pro možné určení polohy zařízení uživatelského segmentu. (18) (21) (24)

Stanice pro komunikaci s družicemi

Jedná se o součást monitorovací stanice, která slouží ke komunikaci s družicemi ze Země. Zpravidla přenášejí data o úpravě dráhy družice a korekce času atomových hodin umístěných na družici. Přesná dráha družice je nezbytná pro určení polohy ostatních zařízení, a jelikož

je dráha ovlivněna působením například i slunečního větru, je potřeba provádět časté korekce kurzu družice. [11]

3.2.2 Základní metody určování polohy

Všechny níže uvedené metody jsou konstruovány pro zaměření přesné polohy, kde družice funguje jako vysílač signálu a zařízení, u kterého je třeba určit polohu jako přijímač. Toto řešení bylo zvoleno v první řadě z vojenských účelů, jelikož vysílání signálu jednotkami v terénu by mohlo vést k jejich lokalizaci nepřítelem. Dále bylo toto řešení zvoleno kvůli technickým důvodům, jelikož koncová zařízení mohou být energeticky nenáročné přijímače a jejich konstrukce je mnohem jednodušší oproti vysílači. Je tedy výhodné vytvořit několik velmi kvalitních a přesných vysílacích zařízení (družice) a pro účel příjmu signálu zvolit jednoduchá zařízení implementovaná koncovým výrobcem v případě využití v komerčním sektoru. Pro určování polohy jsou využívány následující 3 typy měření. (18)

Klíčem ke správnému určení polohy je co nejpřesnější určení aktuálního času, který je potřeba k výpočtu rozdílu mezi časem ve chvíli vysílání signálu a časem ve chvíli příjmu signálu. V kombinaci se známou rychlostí přenosu signálu v atmosféře je možné spočítat vzdálenost mezi družicí a koncovým zařízením. (25)

3.2.2.1 Kódové měření

Využívají se zde tzv. dálkoměrné kódy, které zjednodušeně obsahují časové značky vysílané družicemi. Vzdálenost přijímače se určí na základě rozdílu mezi časem, který obsahuje dálkoměrný kód a časem v koncovém zařízení. Ke zjištění přesné polohy zařízení je samozřejmě potřeba znát i aktuální polohu družice ve chvíli vysílání signálu, která je také obsažena ve zprávě (více viz kapitola 3.2.4 Navigační zpráva).

3.2.2.2 Fázové měření

„Fázová měření jsou založena na využití nosné vlny signálů vysílaných družicemi. Pokud spočteme počet celých vln signálu, které proběhly na trase mezi družicí a přijímačem a jejichž délku velmi přesně známe, je pak již snadné zjistit zbývající kousek nedokončené vlny podle stavu její amplitudy – přeneseně řečeno podle výchylky signálu a jeho intenzity. Tato měření jsou ve srovnání s kódovým měřením výrazně přesnější, zvláště pak při využití

více nosných vln, které umožní provádět korekce zkreslení při průchodu vrstvami atmosféry. Nevýhodou je zde poměrně složité a někdy zdlouhavé zjištění počtu celých vln před počátkem měření a nutnost jejich opakovaného zjištění v případě ztráty signálu družic.“ (18 str. 13)

3.2.2.3 Dopplerovské měření

Je založeno na principu Dopplerova jevu, který měří změny frekvence periodického děje (v tomto případě vysílání zprávy družicí) při vzájemném pohybu zdroje a pozorovatele. V případě přibližování se frekvence zvyšuje, v případě vzdalování se frekvence snižuje. Tato metoda se méně využívá u běžných GPS přijímačů. Nalézá ovšem uplatnění u zařízení, která vyžadují velmi vysokou přesnost určení polohy jako například při geodetickém měření. (26)

3.2.3 Signály vysílané družicemi

Každá družice implementovaná do GPS vysílá na dvou nosných frekvencích označených jako L1 a L2. Signál je vždy kombinací nosné vlny, navigační zprávy a dálkoměrného kódu. V rámci frekvence L1 (1575,42 MHz) jsou vysílány dva dálkoměrné kódy označené jako tzv. pseudonáhodné šumy (PRN). První z nich je tzv. P-kód, který se využívá pro vojenské účely a je velmi přesný. Tento kód je možné zašifrovat, v tom případě se nazývá Y-kód. Druhý typ dálkoměrného kódu na frekvenci L1 se nazývá C/A kód. Jedná se o sekvenci 1023 bitů generovaných na 1023 MHz opakujících se každou milisekundu. Signál obsahuje proud dat v rychlosti 50 bitů za sekundu skládající se z aktuálního času, almanachu atd. C/A kód je běžně dostupný kód pro komerční zařízení, ale není ovšem tolik přesný jako P-kód. Druhá frekvence L2 (1227,60 MHz) obsahuje pouze P-kód a přijímají ji jen specializovaná zařízení. (18) (25)

Problémem je, že GPS je spravován Ministerstvem obrany USA. Je tedy možné, že v případě konfliktu může USA přepnout GPS do tzv. módu selektivní dostupnosti, který velmi zvýší nepřesnost určování polohy u C/A kódu, nebo dokonce jeho vysílání vypne. Mód selektivní dostupnosti může generovat dva typy chyb. Prvním typem je tzv. delta chyba. Jedná se o zvýšení nepřesnosti aktuálního času družice. Ačkoliv se jedná pouze o minimální zkreslení, je výsledný výpočet pozice ovlivněn nepřesnostmi. Druhým typem chyby je tzv. epsilon chyba, která lehce zkresluje udávanou orbitální dráhu satelitu, také nutnou ke správné lokalizaci. V případě aktivního módu selektivní dostupnosti je nepřesnost horizontální

a vertikální chyby vyčíslena na 100 a 156 metrů, respektive 95% pravděpodobnostní úroveň.

(21)

Kvůli vysoké nepřesnosti při aktivovaném módu selektivní dostupnosti je možné GPS využívat jen vojenskými zařízeními a civilní sektor může být naprosto vyřazen. Tomuto by měl předejít GALILEO (viz. Kapitola 3.2 Navigace (GPS)).

3.2.4 Navigační zpráva

Jak již bylo v kapitole (viz Kapitola 3.2.3 Signály vysílané družicemi) řečeno, signál přenáší dálkoměrný kód a navigační zprávu. Pomocí dálkoměrného kódu je možné vypočítat vzdálenost mezi družicí a koncovým přijímačem. Ovšem pro zjištění polohy přijímače je nutné zjistit aktuální polohu družice, která signál vysílá. K tomu slouží obsah navigační zprávy. Mezi jednotlivé údaje navigační zprávy patří parametry oběžných drah družic, informace o stavu družice, almanach atd. Pomocí parametrů o dráze družice a času vysílání je koncové zařízení schopno určit aktuální polohu družice. Na základě toho je možné pomocí vzdálenosti od několika družic určit přesnou polohu koncového zařízení. (18)

Almanach obsahuje méně přesné informace o drahách družic. Na základě těchto informací je koncové zařízení schopno určit přibližnou polohu družic, které jsou v aktuální chvíli dostupné v požadované lokalitě.

Data obsažená v navigační zprávě jsou běžně platná po dobu 4 hodin, přičemž přenos celého obsahu navigační zprávy trvá cca 12,5 minuty. To do značné míry ovlivňuje delší čas pro zaměření aktuální polohy při zapnutí GPS u koncového zařízení.

3.2.5 Omezení GPS

Z důvodu pohybu družic ve výškách přes 20 000 km, je vzdálenost mezi družicí vysílající signál a koncovým přijímačem tak vysoká, že signál, který je přijímán koncovým zařízením na povrchu Země je velmi slabý. Celkový vyzařovaný výkon družice je kolem 27 W, což se zhruba rovná výkonu běžné žárovky. Síla signálu, který zpracovává GPS přijímač se pohybuje kolem 100 atowattů (10^{-18}) ve venkovních prostorách. U vnitřních prostor se síla signálu zeslabí 10 - 100x v případě domu, a 100 - 1000x v případě velkých budov, které signál ruší ještě více. Kvůli tomuto omezení není prakticky možné používat GPS zařízení v interiérech, kde je jeho nepřesnost velmi vysoká nebo dokonce není možné navázat spojení

pro určení polohy. Nejpřesnější zaměření polohy je možné v otevřených prostorech, kde je možný přímý dohled mezi družicemi a koncovým zařízením. Problémem mohou být i objekty, od kterých se signál může odrazet a koncové zařízení není schopné určit originální signál družice (odražený signál letí déle). (18) (25)

Dalším nedostatkem je nemožnost zaměřit více družic z důvodu rušení okolím. Přesnost určení polohy se zlepšuje s příjmem signálu z více družic, přičemž minimálním počtem nutným pro přesné určení polohy jsou 4 družice. První družice slouží k synchronizaci času mezi přesnými atomovými hodinami v družici a krystalovými, o několik řádů méně přesnými, v koncovém zařízení. V kombinaci s dalšími třemi družicemi slouží k výpočtu polohy koncového zařízení včetně určení nadmořské výšky, které by v případě pouze třech satelitů nebylo možné. Respektive možné určení polohy pomocí třech družic by bylo možné za předpokladu, že tvar Země se dá přesně definovat pomocí matematického tělesa. Těleso, které nejlépe definuje tvar Země je geoid nebo elipsoid, ale oba uvedené tvary nejsou natolik přesné k vypočtení správné nadmořské výšky. (18) (21)

Přesná synchronizace času je zde klíčová. V závislosti na rychlosti světla (3×10^8) je nepřesnost jedné nanosekundy rovna 30 cm chyby v odhadu pozice. (22)

Dalším problémem je zpoždění způsobené ionosférou. Ionosféra je vrstva v atmosféře obsahující velké množství negativně nabitých elektronů. Hustota elektronů se liší v jednotlivých vrstvách ionosféry, která je na základě toho rozdělena na 4 vrstvy. Každá vrstva dokáže zpomalit rychlost šíření signálu. Problém nastává ve chvíli, kdy družice jsou rozmístěny na různých místech na obloze a signál, který každá z nich vysílá, letí různou dobu jednotlivými vrstvami ionosféry v závislosti na úhlu, který družice svírá s povrchem Země a přijímačem. (21)

Některé z výše uvedených omezení je možné uživatelem minimalizovat, ale většině se nedá žádným způsobem předcházet. Pro nejpřesnější určení polohy je požadováno rovnoměrně rozprostřené rozmístění družic na obloze. Ve chvíli příjmu signálu od malého počtu družic, přičemž některé jsou blízko sebe, vznikají nepřesnosti ve výpočtu polohy.

3.3 Java

Jelikož se práce nezaměřuje na detailní popis tohoto jazyka, ale pouze programovací jazyk využívá jako nástroj k vypracování praktické části, zabývá se následující kapitola pouze obecným popisem programovacího jazyka Java, respektive jeho vlastnostmi.

3.3.1 Bytekód

U Javy není výstupem kompilátoru přímo spustitelný kód na daném zařízení, ale tzv. bytekód. Jedná se o velmi optimalizovanou sadu instrukcí, kterou je možné spustit v běhovém prostředí Javy, v tzv. virtuálním stroji. Ačkoliv jiné programovací jazyky jsou převáděny přímo do nativního strojového kódu, aby byla zajištěna co nejvyšší rychlost, je i Java díky vysoké optimalizaci velmi rychlá. Navíc spuštění bytekódu ve virtuálním stroji má za následek, že pro jednotlivé architektury je nutné nastavit pouze tento virtuální stroj a programátor dále nemusí řešit implementaci jako v případě vývoje nativního programu. (27)

3.3.2 Základní vlastnosti Javy

K masivnímu rozšíření tohoto programovacího jazyka vedlo několik faktorů, které popisuje následující kapitola. Hlavními faktory jsou samozřejmě přenositelnost a bezpečnost.

3.3.2.1 Přenositelná

Neboť byl programovací jazyk Java vytvářen i jako nástroj k vytváření aplikací v rámci internetu, byl zde požadavek na běh programu pro všechna zařízení, která se k internetu připojují (různé architektury a různé operační systémy). Proto je Java vyvinuta pro běh na virtuálním stroji, který může běžet na těchto architekturách a programátor tak nemusí řešit problém s implementací na více platformě. (28)

3.3.2.2 Bezpečná

Java umožňuje programovat tzv. aplety, což jsou programy, které jsou během přístupu klienta na webový server iniciovány serverem, ale spuštěny na straně klienta, který tak přebírá výpočetní zátěž na svou stranu. Ačkoliv se jedná o dobrý koncept, je zde problém

s bezpečností. Java tento problém řeší tak, že aplety a další programy běží pouze v rámci spouštěcího prostředí Javy a není jim tak přímo umožněn přístup ke zdrojům lokálního počítače. (28)

3.3.2.3 Jednoduchá

Z hlediska učení je Java velice jednoduchá. V případě, že programátor má zkušenosti z jiných programovacích jazyků (ideálně objektových), přechod na Javu není náročný. Velkou výhodou je zdědění syntaxe Javy z C a C++. (27)

3.3.2.4 Objektově orientovaná

Vývojáři mohou těžit z objektové orientace, což je nespornou výhodou u moderních programovacích jazyků. Na druhou stranu Java byla vyvíjena jako nový programovací jazyk a nebyla tedy zatížena nutností kompatibility s jakýmkoliv předchozím jazykem. Ačkoliv se jedná o objektově orientovaný jazyk, Java nevyužívá pro ukládání primitivních datových typů objekty, čímž je zvýšena rychlost programu. (27)

3.3.2.5 Robustní

Jelikož je Java koncipována jako multiplatformní, bylo při jejím vývoji kladeno velké úsilí na robustnost. Java oproti jiným programovacím jazykům nenechává správu paměti na programátorovi a tím minimalizuje množství chyb vycházejících z nepozornosti. Výhodou je také možnost snadného ošetření výjimek i díky možnosti vytvoření vlastních typů výjimek a jejich řešení. Java je také jazykem se silným typováním a může tak kontrolovat kód už během kompilace. (27)

3.3.2.6 Podporující multithreading

Jelikož je Java koncipována i pro vytváření interaktivních a síťových programů, musí podporovat i multithreading, tedy možnost provádět programem více věcí najednou. Tato vlastnost se velmi vyplácí hlavně v případě provádění operací, které jsou náročné na čas a způsobily by zamrznutí programu. K předcházení takového stavu je v Javě možné spustit nové vlákno, které provádí požadovanou operaci nezávisle na dalším běhu programu. (27)

3.3.2.7 Nezávislá na architektuře

Využitím virtuálního stroje spuštěného na koncovém zařízení je možné program Javy spustit téměř kdekoliv. V době vývoje Javy nebylo jasné, zda program bude funkční i na nových architekturách, proto vývojáři Javy zvolili takové řešení, které tomuto problému předchází.

3.3.2.8 Interpretovaná a vysoce výkonná

Vlastní kód se v Javě převádí do tzv. Java bytekódu, který lze spustit na virtuálním stroji na kterémkoli systému. Vlastnostmi bytekódu je zajištěn vysoký výkon při překladu pomocí JIT kompilátoru přímo do strojového kódu.

3.3.2.9 Distribuovaná

„Java je navržena pro distribuované prostředí Internetu, neboť standardně podporuje protokol TCP/IP. Lze dokonce říci, že přístup k nějakému zdroji pomocí URL adresy není o nic složitější než přístup k souboru. Java také podporuje vzdálené volání metod neboli Remote Method Invocation (RMI). Tato vlastnost umožňuje programu volat metody po síti.“
(27 str. 49)

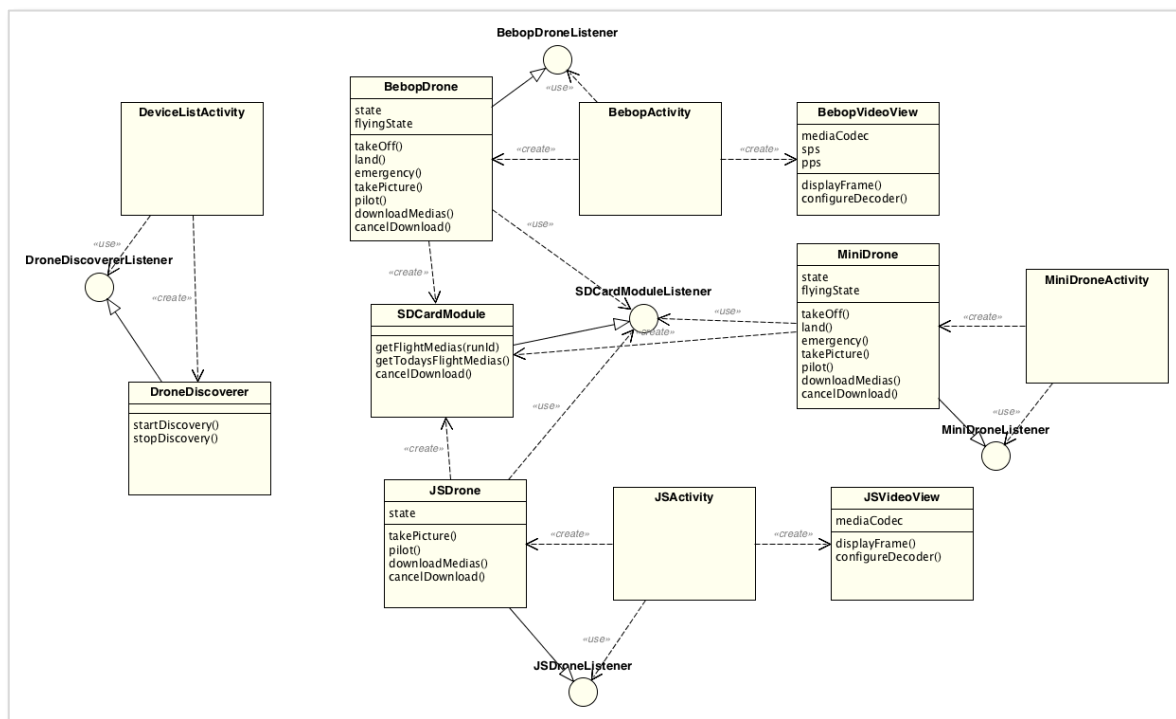
3.3.2.10 Dynamická

„Součástí programů Javy může být značné množství informací určených pro dobu běhu. Tyto informace se pak využívají k ověření a rozhodnutí o přístupech k objektům v době běhu. Díky tomu je možné kód dynamicky propojit bezpečným a účelným způsobem. Tato vlastnost je poměrně zásadní z hlediska robustnosti celého javového prostředí, neboť díky ní mohou být malé fragmenty bytekódu v běžícím systému dynamicky aktualizovány.“ (27 str. 49)

3.3.3 Parrot SDK, API a dokumentace

Parrot pro nabízené produkty umožňuje používat i vlastní SDK, které je dostupné pro aplikace na mobilní zařízení s operačním systémem Android pomocí dostupných knihoven, které je do projektu možné přidat nástrojem Gradle příslušnou dependency. Parrot vychází

vstříc komunitě vývojářů a umožňuje použít ukázkový projekt, který vývojářům usnadňuje problematiku komunikace a objasňuje základy ovládání drona.



Obrázek 3 - Parrot sample – diagram tříd

Zdroj: Developer-Parrot. Documentation. [Online] ©2008. Dostupné z: <http://developer.parrot.com/docs/SDK3/?java#use-samples>

Na Obrázek 3 - Parrot sample – diagram tříd je zobrazen diagram tříd popisující datové struktury a souvislosti mezi objekty ukázkového řešení. Jde o návrh funkčního řešení, který je po drobných úpravách možné spustit na zařízení s OS Android. Jedná se o velmi rozsáhlé řešení umožňující komunikaci s několika modely firmy Parrot, přičemž se nejedná pouze o drony. Aplikace navržená v praktické části práce vychází z ukázkového řešení, které je upraveno na základě požadavků na finální funkcionalitu navigace.

Dále je pro vývojáře dostupné API k programovacím jazykům Java, C a Objective C. Využitím online dokumentace je vývojářům umožněna orientace v ovládání a fungování komunikace drona s aplikací, což je možné použít ve vlastní navrhované aplikaci. Dokumentace obsahuje informace popisující fungování komunikace a nutné postupy pro přístup k jednotlivým datům poskytovaných dronem. Dále obsahuje návrh způsobu ovládání drona aplikací pomocí metod, které vývojář modifikuje k docílení požadované funkcionality.

4 Vlastní práce

K vypracování praktické části práce byl školou, po dohodě s vedoucím práce, zakoupen dron Parrot Bebop 2 RED. Tento model byl vybrán na základě přístupu vývojářů drona ke komunitě nezávislých programátorů a jeho otevřené API pro programování v jazyce Java umožňující implementaci aplikace na mobilní zařízení s operačním systémem Android, na který je aplikace z praktické části práce navržena.

Navrhovaná aplikace slouží k navigaci uživatele z předem definovaného startovního bodu ke vstupu do požadované fakulty, respektive ke vchodu do této budovy. V následující části práce jsou navržena tři možná řešení a na základě jejich porovnání je určeno jedno výsledné řešení, které je implementováno pomocí vývojového prostředí Android Studio. Výsledný program je nainstalován a testován na zařízení Samsung Galaxy Tab 4. Ačkoliv se jedná o tablet, je řešení možné implementovat na všechna zařízení s operačním systémem Android od verze 5.0. Veškerá logika je řešena na straně mobilního zařízení a dron pouze posílá informace o svém pohybu, které jsou zpracovány mobilním zařízením a na základě jejich vyhodnocení jsou dronu posílány instrukce dalšího chování.

4.1 Dron použitý pro implementaci

Jedná se o kvadroptéru Bebop 2 patřící do sortimentu produktů firmy Parrot, která se mimo jiné zabývá vývojem mnoha typů dronů. Jde o druhou generaci drona s označením Bebop. Hlavním důvodem výběru tohoto typu drona byla možnost využít dostupné API a aktivní přístup vývojářů na fóru pro nezávislé programátory. Dalším faktorem pro výběr tohoto typu drona byl integrovaný GPS modul, který u starších modelů není samozřejmostí. Dron má dále zabudovanou vnitřní stabilizaci, která dokáže odolat větru o rychlosti až 60 km/h a je schopen zastavit pohyb z maximální rychlosti 60 km/h za 4 sekundy, což je z hlediska bezpečnosti velmi důležitý parametr.

4.1.1 Základní parametry

Tabulka 1 - Použitý dron – Základní parametry

Kamera	14 megapixelů s rybím okem
Video	třiosý full HD 1080p
Stabilizace	digitální (Parrot system)
Životnost baterie	25 minut letu (2700 mAh baterie)
GPS	ano
Procesor	dvoujádrový s čtyřjádrovou GPU
Úložiště	8 GB flash

Zdroj: Parrot SA. Technical Specifications. [Online] ©2016. Dostupné z: <https://www.parrot.com/us/Drones/Parrot-bebop-2#technical>s

4.1.2 Konektivita a výkon

Tabulka 2 - Použitý dron – Konektivita a výkon

Wi-Fi	802.11a/b/g/n/ac
Síť	MIMO Dual band
Wi-Fi antény	2.4 a 5 GHz
Výstupní výkon	až 21 dBm
Dosah signálu	až 300 m
Maximální horizontální rychlost	16 m/s
Maximální vzestupná rychlost	6 m/s

Zdroj: Parrot SA. Technical Specifications. [Online] ©2016. Dostupné z: <https://www.parrot.com/us/Drones/Parrot-bebop-2#technical>s

4.1.3 Video

Tabulka 3 - Použitý dron – Video

Senzor	CMOS 14 Mpx
Video stabilizér	třiosý digitální systém
Rozlišení videa	1920 x 1080p (30 fps)
Rozlišení fotografie	4096 x 3072 pixelů
Kódování videa	H264
Formát fotografie	JPEG, RAW, DNG
Vnitřní paměť	8 GB flash

Zdroj: Parrot SA. Technical Specifications. [Online] ©2016. Dostupné z: <https://www.parrot.com/us/Drones/Parrot-bebop-2#technical>s

4.2 Popis navržených řešení

4.2.1 Navigace předem stanoveným pohybem

Jako první návrh možného řešení navigace je definován pohyb drona na základě předem přesně určených příkazů. Dron se během letu nepřizpůsobuje aktuální poloze a dalším parametrům, ale pouze následuje předem definovanou trasu pomocí pevně stanovené sekvence prováděných úkonů.

4.2.1.1 Možnost provedení

V programu je pevně stanovená sekvence příkazů, které definují pohyb drona. Dron se pohybuje pomocí počítání uplynulého času pro každý příkaz.

4.2.1.2 Výhody

Částečnou výhodou je relativně snadná implementace. Jelikož se jedná pouze o sekvenci příkazů, je nutné určení trasy a ruční nastavení této sekvence. Snadnost této implementace spočívá v tom, že program nemusí zpracovávat data přicházející z drona, ale pouze vysílá příkazy pro požadovaný pohyb.

4.2.1.3 Nevýhody

Největší nevýhodou je vysoká nepřesnost tohoto řešení. V případě, že dron slouží k navigaci na delší vzdálenost, je i minimální nepřesnost v určení směru letu kritická pro dosažení cílového bodu. Toto tvrzení lze podložit jednoduchým výpočtem rovnoramenného trojúhelníka. Za předpokladu, že dron má urazit vzdálenost 100 metrů, tak i nepřesnost 10 stupňů ve fázi natáčení před spuštěním pohybu vpřed zapříčiní cca 17,5 metrů nepřesnosti oproti požadovanému cíli. Tato nepřesnost se dále projevuje ve všech nadcházejících pohybech.

Další velkou nevýhodou je absence možnosti reagovat na externí vlivy. Ačkoliv je tento dron vybaven vnitřní stabilizací pro případ větru není tato stabilizace natolik přesná, aby udržela dron v naprosto stejné poloze. Dron se tedy působením větru vychýlí z předem určené trasy a jeho následná trasa je ovlivněna tímto vychýlením. V neposlední řadě je u tohoto typu

navigace nevýhodou nutnost manuálního nastavování každé další přidané trasy do seznamu dostupných budov.

4.2.2 Navigace pomocí GPS

Využití navigace pomocí GPS je podmíněno nainstalováním GPS senzoru na dron, případně výběrem takového typu drona, který je tímto senzorem již osazen. Přístup k datům z tohoto senzoru umožňuje zjištění aktuální polohy.

4.2.2.1 Možnost provedení

Dron zjistí aktuální polohu a na základě určené cílové polohy je vypočten azimut, tedy směr, kterým musí dron letět, aby dosáhl požadovaného cíle.

4.2.2.2 Výhody

Obrovskou výhodou tohoto řešení je možnost aktivně reagovat na aktuální polohu drona. Dron při změně výstupu z GPS senzoru poskytuje data mobilnímu zařízení, které je schopno tyto data zpracovat a na základě definovaného algoritmu odeslat dronu instrukce dalšího chování. V případě, že dron je větrem vyveden z požadovaného směru, lze pomocí výpočtu azimutu z aktuální polohy k cílové poloze upravit směr drona v průběhu letu.

4.2.2.3 Nevýhody

Toto řešení funguje v závislosti na přesnosti určení aktuální polohy pomocí přístupu k satelitům GPS. Přesnost je zde ovlivněna velkým množstvím externích vlivů (viz. Kapitola 3.2 Navigace (GPS)). V případě, že dron má omezený přístup k poloze jednotlivých satelitů (viz. Kapitola 3.2.5 Omezení GPS), je toto řešení buď velmi nepřesné, nebo dokonce naprosto nepoužitelné.

4.2.3 Navigace pomocí obrazu

Jelikož je tento typ drona vybaven přední kamerou, je možné pomocí vyhodnocení obrazu určit směr dalšího pohybu.

4.2.3.1 Možnost provedení

V programu pro mobilní zařízení je použit libovolný nástroj pro práci s videem, který je možné využít pro Android zařízení. K tomu je možné použít například knihovnu OpenCV, která slouží ke zpracování videa v reálném čase. Na základě vyhodnocení obrazu je možné určit směr dalšího pohybu drona.

Toto řešení je možné realizovat vyznačením trasy pomocí barevné čáry, kterou během letu dron sleduje. Je zde možné i řešení navigace zpracováváním reálných prvků okolí, kterým dron prolétá a na základě vyhodnocení určit směr. U druhého z uvedených se jedná o velice náročné řešení.

4.2.3.2 Výhody

Velkou výhodou je nezávislost na ostatních senzorech, jelikož veškerá logika je řešena pomocí zpracování obrazu. Ostatní výstupy ze senzorů mohou být velmi nepřesné a jsou v této formě dostupné pro ostatní zařízení. Případně jsou upraveny na základě výstupů z dalších senzorů a až tato hodnota je poskytnuta pro připojené zařízení. Příkladem takového řešení je určení výšky, které je dáno kombinací výstupu z barometru a spodní kamery.

U řešení navigace pomocí zpracování obrazu není z hlediska algoritmu problém rozšíření počtu tras, je pouze nutné trasu fyzicky rozšířit prostřednictvím navigačních čar.

4.2.3.3 Nevýhody

Požadavkem pro realizaci tohoto řešení je nutnost fyzické aplikace navigačních čar na trasy zahrnuté v aplikaci. Ačkoliv sledování čáry v ideálních podmínkách lze provést bez větších problémů, je toto řešení v případě nasazení do běžného prostředí značně náročné. Jedním z problémů je nevyžádané zakrytí části navigační čáry cizími objekty, typicky lidmi pohybujícími se po trase nebo spadáním listů. V takovém případě nastává z hlediska další navigace problém a dron je nutné na tuto situaci připravit předem definovaných chováním. Dalším problémem je množství čar vedoucích k jednotlivým objektům. Tento problém je možné vyřešit uložením větvení čar do programu ve formě stromové struktury a na základě počítání jednotlivých rozdělení čáry určit správnou trasu. Problém ovšem nastává v případě,

kdy je zakryta právě jedna odbočka větvení čáry, která se algoritmem nezapočítá a dron tak odbočuje až o jedno větvení dále a dostává se do špatné větve trasy.

Určení jednotlivých tras je možné vyřešit pomocí barevného rozlišení čar vedoucích k danému cíli. Problém zde ovšem nastává v případě různého počasí, respektive různého osvětlení jednotlivých čar. Barvy čar je možné určit tak, aby nebylo možné zaměnit jednu barvu za jinou v případě jiného nasvícení, ale jen do té míry, kolik je definováno možných cílů budov, tedy počtu barev těchto čar.

Nakonec v případě využití barevných čar se nabízí otázka, zda je vůbec potřeba dron pro navigaci k jednotlivým budovám.

4.3 Srovnání jednotlivých řešení

Následující kapitola popisuje možné faktory ovlivňující výběr jednoho z navrhovaných řešení z kapitoly Popis navržených řešení. Na základě uvedených faktorů je metodou váženého pořadí vybráno finální řešení, které je v další části práce implementováno jako mobilní aplikace v programovacím jazyce Java.

4.3.1 Chyba způsobená vnitřní nepřesností

V rámci této kategorie se nejpřesnějším řešením jeví použití navigace pomocí obrazu. Za předpokladu, že budou splněny ideální podmínky, tedy hlavně nenarušení vodící čáry cizími objekty, je u tohoto řešení nejmenší pravděpodobnost ovlivnění řízení letu vnitřními chybami. Program zpracovává pouze obraz, který je vždy dostupný v případě nepoškození kamery. Podobně je na tom řešení využívající GPS signál. V případě silného příjmu GPS signálu je toto řešení velmi spolehlivé hlavně díky možnosti aktivně reagovat na současnou polohu drona, a na základě toho upravovat směr letu. Nejhorší variantou je navigace drona předem stanoveným pohybem. Jestliže u této varianty eliminujeme externí vlivy, v tomto případě vítr, je zde stále vysoká možnost chyby díky nepřesnostem způsobeným vlastním pohybem drona. Jestliže je definováno otáčení podle uplynulého času, je zde stále vysoká možnost nepřesnosti při rychlosti otáčení.

4.3.2 Chyba způsobená vnějšími vlivy

Zde vychází jako nejlepší varianta navigace pomocí GPS. Z hlediska vnějších vlivů je tato varianta ovlivněna pouze aktuální dostupností satelitů. Jelikož je navigace koncipována pro venkovní prostředí, problém s nedostatečnou dostupností satelitů je minimalizován. Další variantou je navigace pomocí zpracování obrazu. Vnější vlivy ovlivňující toto řešení jsou zpravidla objekty zakrývající vodící čáru. Umístění tohoto řešení na druhém místě z hlediska tohoto kritéria je dáno hlavně možností výskytu pohybujících se objektů (lidé), které vodící čáru mohou zakrývat. Posledním řešením je pohyb pomocí předem stanovených příkazů. Toto řešení je nejvíce náchylné na chybu způsobenou externími vlivy hlavně díky nemožnosti reagovat na tyto vlivy. Počáteční vychýlení z požadovaného směru, například větrem, přímo ovlivňuje celý zbytek trasy.

4.3.3 Živé zpracovávání dat

Nemožnost reagovat na aktuálně přichozící data řadí navigaci pomocí pevně stanoveného pohybu na poslední místo. Na druhou stranu zbylé dvě řešení je možné zařadit na stejnou pozici, jelikož obě živě zpracovávají přichozící data ze senzorů drona a adekvátně na ně reagují pomocí definovaného algoritmu.

4.3.4 Náročnost úpravy trasy

Nejlepším řešením je zde navigace pomocí GPS, která je realizovaná pomocí dynamického seznamu průletových bodů. Pro úpravu trasy stačí tedy libovolný průletový bod pouze manuálně upravit a dron veškerý potřebný pohyb řeší sám na základě postupného čtení tohoto seznamu. Náročnosti úpravy trasy u řešení pomocí pevně stanoveného pohybu silně závisí na velikosti změny. V případě změny pouze ve formě prodloužení vzdálenosti mezi dvěma body je problém řešen pomocí prodloužení času, po který dron tento pohyb provádí. Na druhou stranu v případě nutnosti úpravy dalších pohybů v závislosti na jedné změně se složitost zvyšuje. Posledním řešením je zde navigace pomocí obrazu. V případě, že uvažujeme navigaci podle vodící čáry, je toto řešení jako jediné nemožné řešit úpravou kódu.

4.3.5 Rozšíření počtu tras

Nejlepším východiskem je zde využití navigace pomocí GPS. Pro rozšíření další trasy stačí pouze doplnit seznam tras o další trasu ve formě seznamu souřadnic, jedná se tedy pouze o seznam průletových bodů. V případě navigace pomocí pevně stanoveného pohybu je nutné manuálně definovat přesný pohyb v rámci celé trasy, což je mnohem náročnější řešení, které je také více náchylné na chybu při definování tohoto pohybu. Posledním řešením je navigace pomocí obrazu, u které není možné řešit rozšíření počtu tras programově.

4.3.6 Náročnost vypracování

Jako nejsnazší řešení z hlediska programování je navigace pomocí pevně stanoveného pohybu. Nenáročnost tohoto řešení je dána absencí reakce na data přicházející z drona. Navigace pomocí GPS je náročnější z důvodu vytváření logiky pro navigaci po trase. Bezkonkurenčně nejtěžším řešením je navigace pomocí zpracovávání obrazu. Obecně problém s vyhodnocováním obrazu patří mezi velmi složitá řešení. V případě navigace pomocí vodící čáry je řešení relativně proveditelné, ale v případě rozpoznávání cesty (chodníku, přechodu atd.) se jedná o složitost na úrovni neuronových sítí a strojového učení.

4.3.7 Vyhodnocení

Následující tabulky zobrazují rozhodovací analýzu na základě vážené metody pořadí. Z důvodu přehlednosti tabulek jsou názvy jednotlivých řešení zkráceny, tzn. Varianta A = navigace předem stanoveným pohybem, Varianta B = navigace pomocí GPS a Varianta C = navigace pomocí obrazu. Jednotlivé varianty jsou ohodnoceny 1 až m, přičemž m je počet variant. Nejlepší varianta je ohodnocena 1, nejhorší m. (29)

Tabulka 4 - Ohodnocení variant metodou pořadí

	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Chyba způsobená vnitřní nepřesností	3	1,5	1,5
Chyba způsobená vnějšími vlivy	3	1	2
Živé zpracovávání dat	3	1,5	1,5
Náročnost úpravy trasy	2	1	3
Rozšíření počtu tras	2	1	3
Náročnost na vypracování	1	2	3

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 4 zobrazuje ohodnocení jednotlivých variant pořadím, které vychází ze slovního popisu výše.

Tabulka 5 - Váhové ohodnocení metody pořadí

	váhy	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Chyba způsobená vnitřní nepřesností	0,18	0,55	0,28	0,28
Chyba způsobená vnějšími vlivy	0,16	0,47	0,16	0,32
Živé zpracovávání dat	0,26	0,79	0,39	0,39
Náročnost úpravy trasy	0,11	0,21	0,11	0,32
Rozšíření počtu tras	0,08	0,16	0,08	0,24
Náročnost na vypracování	0,21	0,21	0,42	0,63
Součet	1	2,39	1,43	2,17

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 5 zachycuje váhové ohodnocení jednotlivých kritérií. Na základě těchto vah jsou vypočteny jednotlivé hodnoty kritérií pro všechny varianty.

Výsledná hodnota je vypočtena pomocí vzorce:

$$b_i = \sum_{j=1}^k b_{ij}$$

Na základě tohoto součtu je určeno konečné pořadí vhodnosti variant. Nejlepší varianta je ohodnocena nejnižším součtem, v tomto případě se jedná o variantu navigace pomocí GPS. Navigace pomocí pevně stanoveného pohybu má největší slabiny v rámci externích a vnitřních chyb. Navigace pomocí zpracování obrazu zaostává v oblasti nutnosti manuálních úprav tras, které není možné řešit programově (v případě vodících čar).

4.3.8 Vybrané řešení

Nejlepší variantou, která je v následujících kapitolách praktické části práce implementována, je na základě vyhodnocení metody váženého pořadí navigace pomocí GPS. Nejsilnější stránkou tohoto řešení je silná odolnost vůči chybám způsobených nepřesnostmi drona a externími vlivy. Zároveň další silnou stránkou tohoto řešení je snadný přístup k rozšiřování kolekce tras a jejich možných úprav.

4.4 Implementace

Následující kapitola popisuje implementaci vybraného řešení z kapitoly 4.3.8 Vybrané řešení. V kapitole je popsána komunikace mezi dronem a mobilním zařízením. Dále je pomocí sekvenčního diagramu popsána logika navigace a pomocí aktivity diagramu fungování algoritmu navigace. Následně je navrženo rozložení a funkce prvků na jednotlivých obrazovkách aplikace. Dále je uvedeno několik základních scénářů zachycujících průchod aplikací. Poté je řešeno načítání tras, u kterého je jako nejvhodnější řešení pro budoucí úpravy zvoleno načítání tras z externího souboru. V závěrečné části této kapitoly je zobrazeno testování možných přístupů k řízení drona pomocí GPS.

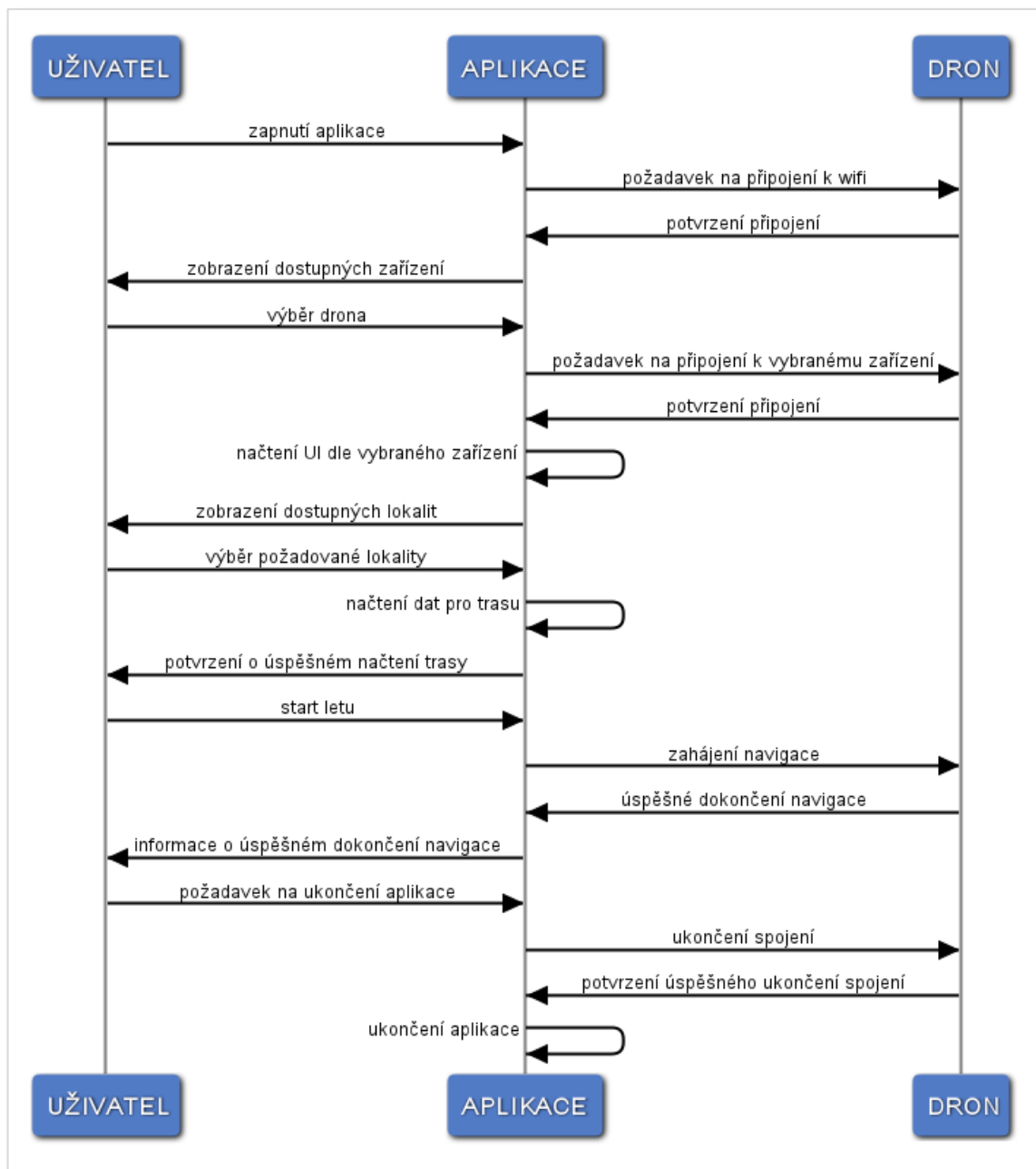
4.4.1 Komunikace drona s aplikací

V rámci řešení implementovaným dronem Bebop 2 probíhá komunikace tak, že dron slouží pouze jako vysílač, který je spojen s mobilním zařízením pomocí wifi sítě, kterou vysílá. Dron při změně vnitřních senzorů posílá zprávu připojenému zařízení, které zprávu přijímá a vstupy zpracuje dle připraveného algoritmu. Následně zařízení posílá dronu zprávu obsahující požadovanou akci, kterou dron po přijetí zprávy provede.

Na straně mobilního zařízení, nemusí se jednat o chytrý telefon, ale obecně o zařízení, které je schopné signál přijímat a zpracovávat, je pro aplikaci v rámci třídy BebopDrone definován Listener, který implementuje interface obsahující požadované metody. Ve chvíli přijetí nové zprávy od drona se prověří, zda parametr zprávy souhlasí s parametry jednotlivých implementovaných metod. Když k takové shodě dojde, je pomocí Handleru hodnota parametru poskytnuta dalším součástí aplikace. Detailnější pohled na komunikaci je řešen pomocí SDK, které Parrot poskytuje.

4.4.2 Návrh logiky navigace

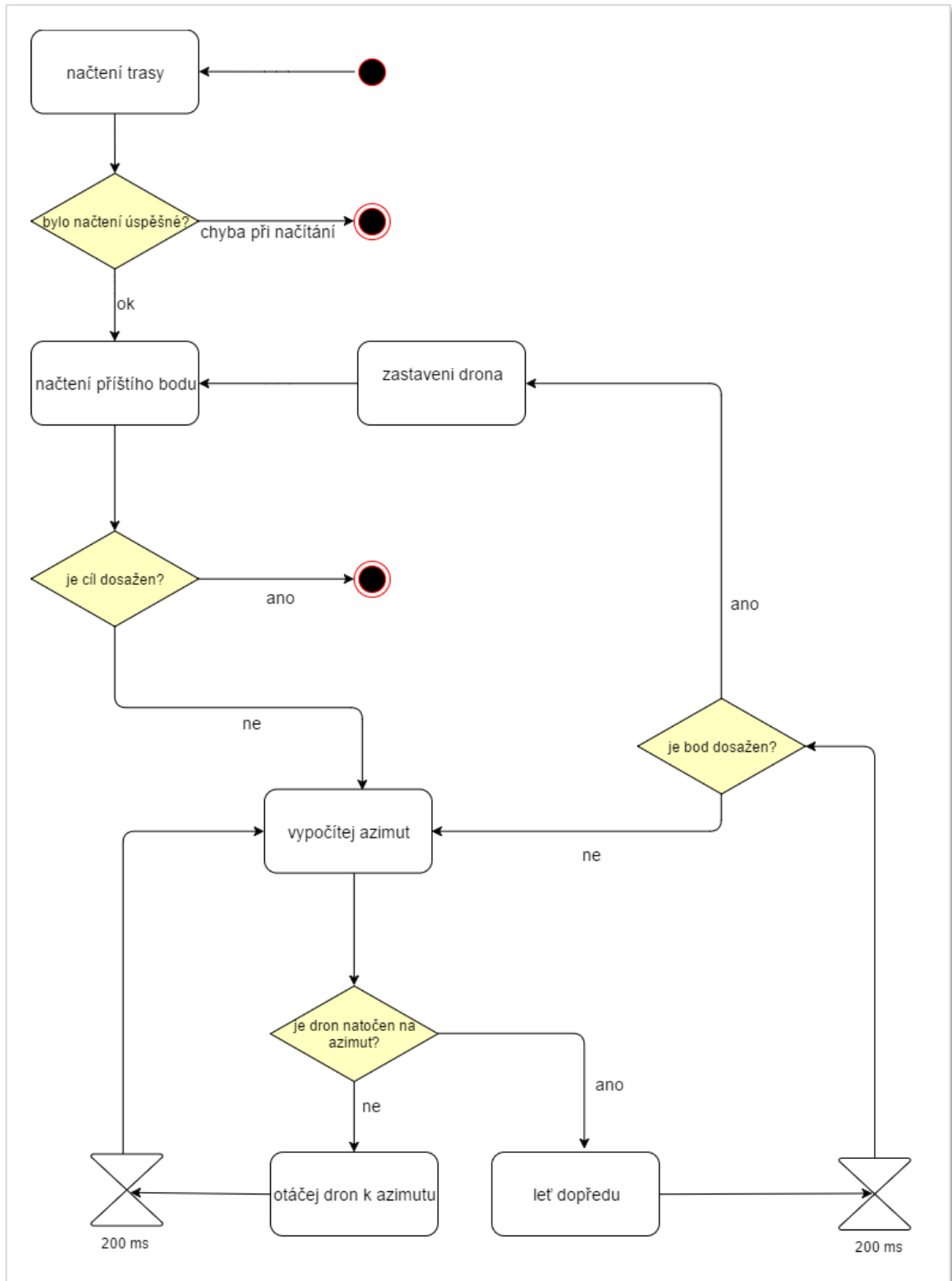
Následující kapitola slouží k zobrazení průběhu aplikace pomocí sekvenčního diagramu a zobrazení algoritmu navigace pomocí aktivity diagramu.



Obrázek 4 - Průběh aplikace – Sekvenční diagram

Zdroj: vlastní zpracování

Na obrázku výše (viz. Obrázek 4 - Průběh aplikace – Sekvenční diagram) je vyobrazen úspěšný průběh aplikace. Sekvenční diagram slouží k zachycení interakce mezi třemi základními účastníky: Uživatel, Aplikace a Dron. Jedná se o interakci od zapnutí aplikace uživatelem až po vypnutí. Vlastní navigace, realizovaná v praktické části práce, probíhá mezi zprávami zahájení navigace a úspěšné dokončení navigace.



Obrázek 5 - Algoritmus navigace – Activity diagram

Zdroj: vlastní zpracování

Aktivita diagram (viz. Obrázek 5 - Algoritmus navigace – Aktivita diagram) zobrazuje navržený algoritmus, jehož začátek je definován akcí kliknutí uživatele na jednu položku v seznamu dostupných destinací určených externím souborem a spuštěním navigace tlačítkem start. Jeho koncovými body jsou v tomto diagramu určeny neúspěšným načtením trasy a úspěšným ukončením algoritmu ve chvíli dosažení požadovaného cíle dronem. Pro rozlišení názvů je v algoritmu konečný cíl, tedy poslední bod na trase, nazván jako cíl. V případě jednotlivých bodů, kterými dron prolétá na trase, jsou tyto body nazvány jako bod. V programu je algoritmus realizován pomocí tzv. countdowntimeru (časovače). Toto řešení bylo zvoleno z důvodu bezpečnosti, jelikož u tohoto typu timeru je nutné před jeho spuštěním určit celkový čas, po který bude časovač pracovat. V případě uplynutí tohoto časovače dochází k ukončení navigace, dron je zastaven a je předcházeno možným chybám. Tento časovač umožňuje v nastavených intervalech (tzv. tik) provádět kód programu. Navigace v programu probíhá načtením trasy, dron se natočí na následující průletový bod a spustí pohyb vpřed. V každém tiku časovače probíhá kontrola správného natočení a dosažení následujícího bodu. Při dosažení nejbližšího průletového bodu je dron zastaven a probíhá načtení následujícího průletového bodu a proces se opakuje. V případě dosažení posledního průletového bodu, tedy cíle, je algoritmus ukončen.

4.4.3 Návrh UI

Uživatelské rozhraní aplikace je rozděleno na dvě základní obrazovky. Po startu aplikace se uživateli zobrazí seznam dostupných zařízení (dronů). Aplikace automaticky navazuje wifi spojení mezi dronem a mobilním zařízením ihned po spuštění aplikace, které je nutné pro zobrazení dostupného zařízení. Uživatelské rozhraní je navrženo tak, aby uživateli zobrazovalo pouze nezbytné informace nutné k používání navigace. Pro tvorbu wireframů byl použit online nástroj gomockingbird.

4.4.3.1 Obrazovka dostupných zařízení

Tato obrazovka (viz. Obrázek 6 - Obrazovka dostupných zařízení) obsahuje seznam dostupných zařízení (dronů) a pokyn k výběru. Jelikož je zpřístupnění drona v seznamu zařízení podmíněno připojením mobilního zařízení na wifi síť vysílanou dronem, je možné v jeden moment zobrazení pouze jednoho přístupného drona v seznamu zařízení v případě,

že mobilní zařízení nemá možnost připojení k více wifi vysílačům současně. V aplikaci je připojení do navigace drona realizováno seznamem zařízení z důvodu možnosti zobrazit daný dron (jeho název a model). Aplikace je takto připravena na rozšíření na více modelů dronů určených pro navigaci. Po zapnutí aplikace je mobilní zařízení automaticky odpojeno z dosavadní sítě a připojeno na definovanou síť, pomocí jeho ssid a hesla. V případě, že je dron ve chvíli zapnutí aplikace vypnut, seznam je prázdný. Po zapnutí drona se do seznamu automaticky přidá dostupné zařízení. Po zvolení připojeného zařízení uživatelem aplikace otevírá novou aktivitu (viz. 4.4.3.2 Obrazovka navigace).



Obrázek 6 - Obrazovka dostupných zařízení

Zdroj: vlastní zpracování

4.4.3.2 Obrazovka navigace

Tato obrazovka (viz. Obrázek 7 - Obrazovka navigace) obsahuje seznam dostupných tras mezi startovním bodem a cílovou polohou, která je dána vchodem do požadované budovy.

Po zobrazení této obrazovky se jednotlivé položky seznamu načtou z externího souboru. Na obrazovce jsou dále dvě tlačítka. Prvním je tlačítko ovládající spuštění letu. Po kliknutí na toto tlačítko se změní jeho funkce na zastavení probíhajícího letu. Zastavení v tomto případě znamená zastavení drona v pohybu. Druhým tlačítkem je stav nouze, které se zpřístupní po spuštění letu a jeho zmáčknutím uživatel předchází kolizi drona s cizími objekty v případě selhání navigace. Stav nouze v tomto případě znamená okamžité zastavení rotace vrtulí drona a jeho pád na zem. Použití tohoto tlačítka je tedy doporučeno pouze v případě nouze, jelikož může způsobit mechanické poškození drona. Posledním prvkem na této obrazovce je ukazatel průběhu (progressbar). Ten slouží k zobrazení procentuálního průběhu trasy, kterou dron již absolvoval po výběru destinace a spuštění navigace.



Obrázek 7 - Obrazovka navigace

Zdroj: vlastní zpracování

4.4.4 Scénáře

4.4.4.1 Úspěšný průchod aplikací

Uživatel spustí aplikaci. Po zapnutí aplikace se uživateli zobrazí obrazovka dostupných zařízení. V případě, že je dron v dosahu wifi sítě, aplikace se automaticky připojí na wifi síť vysílanou dronem. Po připojení aplikace k wifi síti drona je otevřena nová obrazovka, která obsahuje seznam dostupných cílů pro navigaci. Uživatel zvolí libovolný cíl, aplikace tento cíl načte a zpřístupní tlačítko pro zahájení navigace. Uživatel klikne na tlačítko naviguj. Dron dovede uživatele k požadovanému cíli přes průletové body definující trasu. Po dosažení cíle aplikace zobrazí hlášení uživateli o úspěšném absolvování trasy. Uživatel vypíná aplikaci.

4.4.4.2 Dron není dostupný

Uživatel spustí aplikaci. Po načtení obrazovky dostupných zařízení se aplikace dostane do stavu prázdného seznamu zařízení. V takovém případě uživatel zkontroluje dostupnost dosahu wifi sítě vysílané dronem v nastavení telefonu. Pokud je wifi síť viditelná v seznamu bezdrátových sítí nastavení telefonu, uživatel se vrací do aplikace a vyčká na navázání spojení mezi aplikací a dronem. Není-li wifi síť v seznamu bezdrátových sítí nastavení telefonu viditelná, uživatel zkontroluje zapnutí drona. Jestliže dron nemá nabitě baterie v dostatečné kapacitě, není navigace možná.

4.4.4.3 Nouzové zastavení

Připojení k dronu probíhá obdobně jako v kapitole 4.4.4.1 Úspěšný průchod aplikací. Po vybrání cíle a spuštění navigace může nastat nouzový stav, u kterého je nutný zásah uživatele k předejití poškození drona nebo okolních objektů. Pro okamžité zastavení navigace a zároveň nouzové ukončení letu je pro uživatele dostupné tlačítko stav nouze.

4.4.5 Načítání trasy

V první fázi vývoje aplikace bylo načítání trasy realizováno přímým načítáním statických dat z kódu. Toto řešení má značnou nevýhodu při nutnosti úpravy, respektive přidávání nových tras. Z toho důvodu bylo ve finální verzi aplikace načítání tras řešeno pomocí načítání

z externího souboru. Aplikace při každém spuštění načítá data z tohoto souboru ve formátu JSON. Tyto data jsou následně přístupná aplikaci. Pro změnu tras není nutné přeinstalovat celou aplikaci, ale stačí pouze upravení externího souboru. Pro budoucí vývoj aplikace je toto řešení možné vylepšit o možnost tento soubor uložit na webový server. Pro všechny uživatele je dále nutné zpřístupnit možnost pro připojení k tomuto serveru a aktualizaci externího souboru.

4.4.6 Testování

Testování bylo prováděno v celém průběhu vývoje aplikace. Při každé větší úpravě aplikace bylo třeba otestovat správné fungování přidanych funkcionalit. Většina testování bylo prováděna v prostorech popsanych v kapitole 4.4.6.1 V ideálních podmínkách. K následné vizualizaci souřadnic do mapy byl použit online nástroje gpsvisualizer.

4.4.6.1 V ideálních podmínkách

Jako testovací prostor pro běžné testování bylo vybráno pole nedaleko bydliště autora práce. Tento prostor byl vybrán na základě následujících podmínek: velká plocha, rovný terén, nepřítomnost objektů narušujících let drona, bezpečné testování (neprovádí se let nad cennými objekty), absence lidí atd. Hlavně z důvodu otevřenosti terénu byl během měření dostupný vysoký počet satelitů k dosažení přesnosti aktuální polohy drona. Pro zaznamenaná měření u níže uvedených podkapitol bylo dronu v průměru dostupných 16-17 nalezených satelitů.

Kratší vzdálenost mezi průletovými body

Prvním typem testovaného přístupu k docílení přesnosti navigace je nastavení kratší vzdálenosti mezi průletovými body. Vzdálenost mezi každými následujícími body je určena na pevnou hodnotu. V případě testování vyobrazeného na Obrázek 8 - Testování – kratší vzdálenost mezi průletovými body je tato vzdálenost nastavena na hodnotu kolem 5 metrů.



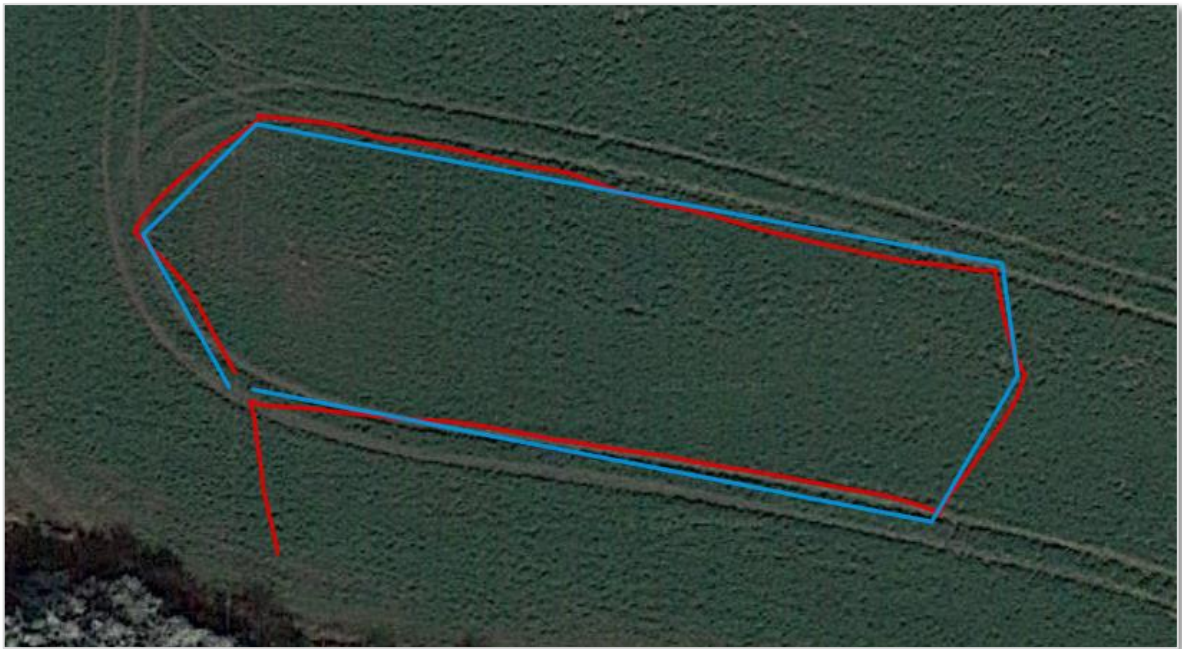
Obrázek 8 - Testování – kratší vzdálenost mezi průletovými body

Zdroj: vlastní zpracování

Výhodou tohoto řešení je zvýšení přesnosti v případě nepříznivých povětrnostních podmínek. Dron se v případě vychýlení z nejkratší trasy automaticky navádí na příští nejbližší bod, díky tomu je velikost vychýlení dána pouze vzdáleností k dalšímu bodu, u kterého dron kříží let s definovanou trasou.

Delší vzdálenost mezi průletovými body

Druhým typem přístupu k docílení přesnosti navigace je nastavení delší vzdálenosti mezi průletovými body. Tímto způsobem se snižuje náročnost vytváření a úpravy tras. Na druhou stranu dochází ke zvýšení nepřesnosti v případě špatných povětrnostních podmínek.



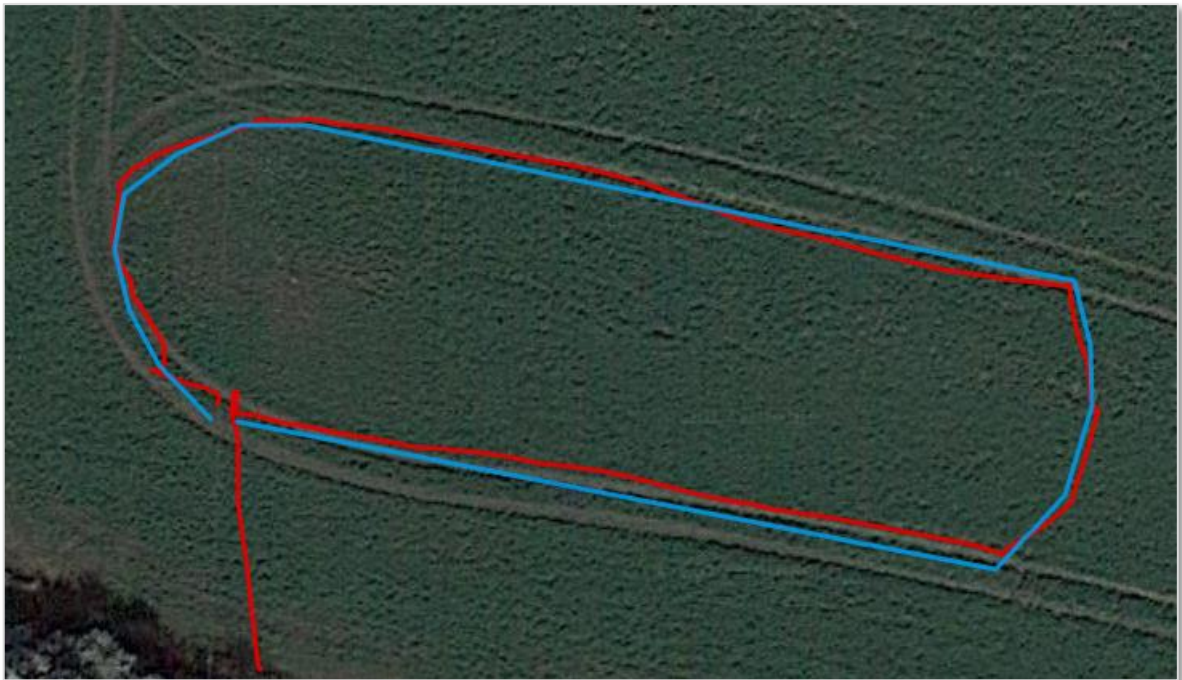
Obrázek 9 - Testování – delší vzdálenost mezi průletovými body

Zdroj: vlastní zpracování

Využitím tohoto typu navigace se také snižuje doba, kterou dron potřebuje k průletu celé trasy. Jak již vychází z návrhu řídicího algoritmu, dron při dosažení nejbližšího bodu na trase zastavuje a natáčí se směrem k dalšímu bodu. Tento přístup byl zvolen z bezpečnostních důvodů. Právě díky snížení celkového počtu průletových bodů se čas potřebný k absolvování celé trasy snižuje o další případná zastavení v těchto bodech.

Adaptivní vzdálenost mezi průletovými body

Třetím přístupem k navigaci je adaptivní přístup k vzdálenosti mezi jednotlivými body. Jedná se o kombinaci předchozích dvou, která by teoreticky měla spojovat výhody obou řešení.



Obrázek 10 - Testování – adaptivní vzdálenost mezi průletovými body

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je vidět na obrázku výše (viz. Obrázek 10 - Testování – adaptivní vzdálenost mezi průletovými body) skutečný záznam cesty (na obrázku vyznačeno červeně) kopíruje trasu definovanou pro průlet. Vzdálenosti mezi jednotlivými průletovými body je dána požadovaným zakřivením trasy. V případě dlouhého rovného úseku trasy jsou průletové body definovány pouze na začátku a konci této trasy. V případě členitého tvaru trasy jsou body definovány blízko u sebe (řešeno obdobně jako v kapitole Kratší vzdálenost mezi průletovými body).

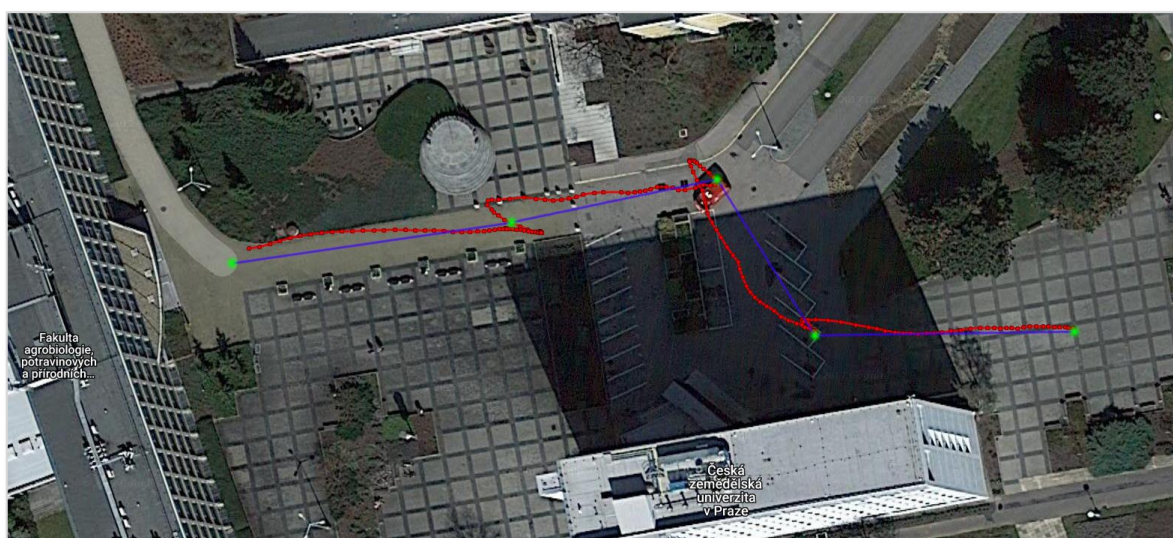
Porovnání typů přístupu k navigaci

Použití řešení s dlouhými rozestupy mezi jednotlivými body trasy má nejnižší čas nutný k absolvování trasy a náročnost na úpravu a přidávání tras není vysoká. Proto se v ideálních podmínkách jeví jako nejlepší varianta. Na druhou stranu je toto řešení nejvíce náchylné na vychýlení z požadované trasy v případě nepříznivých povětrnostních podmínek. Oproti tomu řešení s kratšími vzdálenostmi mezi jednotlivými průletovými body vykazuje nejvyšší odolnost vůči nepříznivým povětrnostním vlivům díky vysokému počtu průletových bodů, kterými dron musí proletět. Ačkoliv řešení s adaptivní vzdáleností mezi jednotlivými

průletovými body se jeví jako ideální kombinace předešlých dvou řešení, tak u něj stále platí nevýhody plynoucí z vysokých vzdáleností mezi jednotlivými body v případě rovného letu. Nejlepším řešením pro případnou implementaci je varianta s krátkými rozestupy mezi průletovými body. Ačkoliv je doba pro průlet této varianty teoreticky nejdelší, z hlediska bezpečnosti, která je u finálního řešení nejdůležitějším aspektem, je tato varianta nejvhodnější.

4.4.6.2 V prostorách ČZU

Závěrečné testování trasy v prostorách univerzity bylo provedeno 18.3.2017. První testovací let byl proveden od budovy pobočky Komerční banky nacházející se nedaleko přechodu u zastávky autobusu Zemědělská univerzita s cílem k hlavnímu vchodu do budovy PEF. Z důvodu bezpečnosti byla trasa vybírána tak, aby se nekřížila s žádnou hlavní ulicí. Vzhledem k nepříznivým povětrnostním podmínkám nebyl let touto trasou možný. Nepříznivé povětrnostní podmínky mají za následek rychlé vyčerpání kapacity baterie z důvodu nutnosti vyrovnávat poryvy větru. Na základě toho byla následující trasa zvolena značně kratší a orientačně jednodušší. Jako startovní bod byl vybrán prostor mezi budovou rektorátu a aulou ČZU. Cílem trasy byl stanoven hlavní vchod do budovy fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů.



Obrázek 11 - Testování – v prostorách ČZU

Zdroj: vlastní zpracování

Na obrázku výše je zobrazena naplánovaná trasa, kterou má dron absolvovat. Průletové body, které jsou dronu přístupné, jsou vyznačeny zelenými tečkami. Modré čáry značí nejkratší možnou spojnicí mezi dvěma body, kterou by dron měl svým letem kopírovat. Červeně je na obrázku vyznačena skutečná trasa, kterou dron při autonomním letu absolvoval. Vysoké odchýlení od naplánované trasy je způsobeno nepříznivými povětrnostními podmínkami v čase testování. Vysoká rychlost větru způsobuje vychýlení drona z nejkratší možné trasy mezi dvěma body. V blízkosti jednotlivých bodů je dron vychýlen a k dosažení nejbližšího bodu se otáčí a vrací se vypočtenou trasou zpět k tomuto bodu.

5 Výsledky a diskuse

V praktické části práce byl vytvořen návrh tří způsobů přístupu k navigaci, které je možné realizovat pomocí dostupných vlastností zvoleného drona zakoupeného školou. Na základě popisu šesti základních aspektů ovlivňujících použitelnost navržených způsobů a jejich zhodnocení pomocí vážené metody pořadí, byla vybrána navigace pomocí GPS jako nejvhodnější řešení. Způsob fungování navržené aplikace byl popsán pomocí sekvenčního diagramu a fungování vlastního algoritmu navigace bylo popsáno pomocí aktivity diagramu. Dvě základní obrazovky dostupné v aplikaci byly realizovány pomocí wireframů doplněných o popis funkcionalit prvků nacházejících se na těchto obrazovkách. Práce popisuje také tři základní scénáře, které zobrazují průchod aplikací uživatelem a možná řešení nastalých chyb. Načítání tras bylo vyřešeno pomocí přístupu aplikace k externímu souboru, který umožňuje úpravu jednotlivých tras bez nutnosti reinstalace celé aplikace. V závěrečné části práce je zobrazen průběh testování jednotlivých návrhů řešení navigace pomocí GPS. Z těchto návrhů je vybráno nejlepší řešení na základě analýzy a nabitých znalostí během testování.

Výsledkem práce je aplikace dostupná pro zařízení s operačním systémem Android od verze 5.0. Uživatelské rozhraní aplikace je navrženo tak, aby uživateli byly poskytnuty pouze takové funkce, které jsou pro využívání aplikace nezbytné a předešlo se tak chybám způsobených uživatelem.

5.1 Problémy s aktuálně navrženou navigací

Ačkoliv je současně navržená aplikace plně funkční, naráží na problémy spojené s použitím dronů v autonomním režimu.

5.1.1 Legislativa

Současně platná legislativa v ČR neumožňuje jakýkoliv autonomní let bez možnosti zásahu pilota do letu, případně ukončení letu. Tento problém je v práci vyřešen pomocí funkcí, které uživateli umožňují let zastavit, případně nouzově ukončit.

Největším nedostatkem legislativy z hlediska bezpečnosti je zákaz jakéhokoliv režimu letu (autonomní, řízený) nad osobami, které tak může ohrozit. Z tohoto důvodu není při

současném znění legislativy možné aplikovat navržené řešení v praktické části práce v reálných podmínkách.

5.1.2 Výška letu

Typ drona, který byl vybrán k realizaci práce, neposkytuje v rámci svého rozhraní přístup k aktuální výšce letu. Vývojáři argumentují tím, že výstupy ze sensorů určující aktuální výšku nejsou dostatečně přesné, tudíž podle nich není možné řídit výšku letu drona. Dronem jsou ovšem poskytovány jiné dva údaje. Prvním je výška relativní ke startovacímu bodu. Dron není schopen během letu sám upravovat výšku vzhledem k měnícímu se charakteru terénu. Z toho důvodu je při udržování stejné výškové hladiny vzhledem ke startovacímu bodu možná kolize drona s povrchem země. Druhým způsobem je výška dostupná z GPS senzoru. V tomto případě se jedná o parametr, který je možné v řešení navigace využít, ale pouze za předpokladu, že je známá nadmořská výška pro všechny průletové body trasy. Problémem ovšem zůstává určení ideální výšky letu pro navigaci v areálu ČZU. Jelikož dron slouží k vedení uživatele aplikace k požadovanému cíli trasy, nesmí se dron pohybovat příliš vysoko. Na druhou stranu se nesmí pohybovat ani příliš nízko kvůli zachování bezpečnosti okolních osob. Navrhovanou výškou pro let je cca 2,5 metrů. Za předpokladu, že dron tuto výšku dokáže udržet je zde stále problém s neplánovaným výskytem vyšších objektů na trase.

5.1.3 Nepříznivé povětrnostní podmínky

Ačkoliv bylo řešení navigace dronem pomocí GPS vybráno jako nejvhodnější a následně ze tří způsobů realizace tohoto řešení vybráno to nejbezpečnější, jedná se stále relativně o nepoužitelné řešení v případě nepříznivých povětrnostních podmínek. Ve chvíli, kdy je dron vychýlen z trasy, jeho kurz se stále upravuje, aby směřoval k následujícímu průletovému bodu, ale vlastním vychýlením se trasa mění oproti původně naplánované a může dojít ke kolizi s objekty nacházejícími se v nové trase.

5.2 Možná rozšíření aplikace

Pro budoucí rozšíření aplikace bylo autorem práce navrženo několik možných vylepšení, které by umožnily lepší využití v reálném prostředí.

5.2.1 Přizpůsobení rychlosti drona

V současně navržené aplikaci je rychlost pohybu drona dána průměrnou rychlostí lidské chůze. Vylepšení je v této oblasti možné realizovat přístupem aplikace k aktuální pozici mobilního zařízení. Tímto je, za předpokladu dostatečné síly GPS signálu, možné vypočítat rychlost pohybu uživatele a přizpůsobit tak rychlost pohybu drona.

5.2.2 Načítání tras z internetu

Aktuální řešení je navrženo tak, aby při úpravě tras nebyla nutná reinstalace aplikace, ale pouze úprava externího souboru. Tento soubor by mohl být uložen na školním serveru. Aplikace při každém startu prověří, zda byl tento soubor na serveru modifikován. Pokud zjistí změnu v čase poslední úpravy souboru, je lokální soubor nahrazen.

5.2.3 Kombinace navigace pomocí GPS a obrazu

Možným vylepšením je zde vytvoření navigace pomocí kombinace GPS a obrazu. Navigace by fungovala na stejném principu jako uvedená v praktické části práce. Zpracování obrazu by sloužilo pouze k vyhodnocení objektů, se kterými hrozí kontakt. Tím by byla zajištěna vyšší úroveň bezpečnosti, jak z hlediska ochrany okolních objektů a osob, tak drona.

5.2.4 Předělání komunikace na dron-server a server-klient

Zcela jiným přístupem logiky komunikace aplikace je využití serverové části. V současné verzi navržené aplikace probíhá komunikace pouze mezi dronem a mobilním zařízením, které drona ovládá. Uvedené vylepšení by vkládalo do komunikace mezivrstvu realizovanou severem. Uživatel by se aplikací připojoval k serveru pomocí přístupových bodů umístěných podél trasy a komunikoval výhradně se serverem. Server by dále komunikoval s dronem. Toto řešení vede ke zvýšení bezpečnosti z důvodu zamezení přímé komunikace mezi uživatelem a dronem. Další výhodou tohoto řešení je možnost navigovat drona i v době, kdy není připojen žádný uživatel. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost pokrytí celé trasy navigace přípojnými body wifi sítě, ke kterým musí být uživatel stále připojen, aby mohl komunikovat se serverem. Jednotlivé přístupové body by kromě možnosti vysílat síť, musely poskytovat i možnost připojení k síti, kterou vysílá dron.

6 Závěr

Na základě definovaných cílů a metodiky, vymezujících návrh navigace realizované pro zařízení s OS Android pomocí UAV, byla v rámci teoretické části práce popsána problematika UAV a uvedeno její rozdělení. Dále byly vyzdvihnuty výhody použití UAV a uvedeny nedostatky ve srovnání se současně používaným řešením. Byly popsány možnosti využití UAV, které jsou v současné době využívány a jejich možný budoucí vývoj. Dále je popsána problematika legislativy týkající se využívání UAV. Vzhledem k vybranému řešení navigace z praktické části práce, je rozpracováno fungování a omezení navigace pomocí GPS. V závěru teoretické části jsou uvedeny základní vlastnosti programovacího jazyku Java, ve kterém je výsledná aplikace naprogramována a stručně popsáno rozhraní pro programování UAV použité v praktické části práce.

V úvodu praktické části práce jsou uvedeny základní parametry UAV použitého k realizaci navigace. Dále jsou navrženy tři přístupy k navigaci pomocí UAV po kampusu univerzity. Tyto přístupy jsou na základě šesti kritérií slovně ohodnoceny a pomocí metody váženého pořadí je vybrána, jako nejvhodnější, navigace pomocí GPS. Následně je wireframy navrženo uživatelské rozhraní aplikace. Pomocí sekvenčního diagramu je popsáno fungování aplikace a pomocí aktivity diagramu vlastní algoritmus navigace. Dále je vyřešeno načítání tras do aplikace pomocí externího souboru a uvedeny základní scénáře popisující průchody aplikace uživatelem. V závěru praktické části jsou uvedeny výsledky testování a je zvoleno takové řešení navigace pomocí GPS, které je nejbezpečnější a nejméně náchylné k externím chybám.

Aplikace navržená v praktické části práce je plně funkčním řešením a splňuje veškeré stanovené cíle. Přesto je v rámci kapitoly Výsledky a diskuse uvedena kritika navrženého řešení. Tato kritika je založena na nabytých znalostech z oblasti využívání dronů, legislativy, vývoje aplikace a testování. Jelikož je navržená aplikace realizována autonomním letem UAV, největší překážkou k využití navržené navigace je legislativa platící v ČR, která plně autonomní let nepovoluje. V práci je tento problém částečně vyřešen, ale stále je využití UAV v běžném prostředí, při současném znění zákona, téměř nemožné.

V poslední části práce jsou navržena a popsána čtyři možná rozšíření navigace. První dvě jsou určena pouze k doplnění funkcionality aplikace. Třetí, je kombinací navigace pomocí GPS a vyhodnocování obrazu, s důrazem na zvýšení bezpečnosti finální navigace. Poslední

rozšíření navrhuje diametrálně odlišný přístup ke komunikaci, která v tomto případě probíhá přes mezivrstvu ve formě serveru, tímto je zvýšena kontrola nad přímou komunikací mezi uživatelem a UAV.

7 Seznam použitých zdrojů

1. **SACHS, Sun.** How Tesla's 1898 Patent Changed the World. *Teleautomaton*. [Online] 22. 10 2010. [Citace: 27. 10 2016.] <http://teleautomaton.com>.
2. **KARAS, Jakub a TICHÝ, Tomáš.** *Drony*. Brno : Computer Press, 2016. ISBN 9788025146804.
3. **BI Intelligence.** THE DRONES REPORT: Market forecasts, regulatory barriers, top vendors, and leading commercial applications. *Businessinsider*. [Online] Business Insider Inc., 10. 6 2016. [Citace: 30. 11 2016.] <http://www.businessinsider.com>.
4. **TIME.** Drones. *Time*. [Online] Time Inc., 6. 11 2012. [Citace: 30. 11 2016.] <http://nation.time.com>.
5. **UNMANNED TECH.** LiPo Batteries. *Dronetrest*. [Online] CC-BY-SA, 15. 9 2015. [Citace: 1. 2 2017.] <http://www.dronetrest.com/t/lipo-batteries-how-to-choose-the-best-battery-for-your-drone/1277>.
6. **ARDUPILOT DEV TEAM.** What is a MultiCopter and How Does it Work? *Ardupilot*. [Online] ArduPilot Dev Team. [Citace: 1. 2 2017.] <http://ardupilot.org/copter/docs/what-is-a-multicopter-and-how-does-it-work.html>.
7. **Parlament ČR.** Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví. *Sbírka zákonů*. [Online] 1997. [Citace: 2017. 1 2.] <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>.
8. **Týdeník Policie.** Policie představila nový služební DRON, má noční vidění i termovizi. *Týdeník Policie*. [Online] 14. 6 2016. [Citace: 17. 1 2017.] <http://www.tydenikpolicie.cz>.
9. **HIXSON, Lucas W.** IAEA promotes hexacopter drone to measure radiation levels around Fukushima. *Enformable*. [Online] Enformable, 16. 12 2013. [Citace: 17. 1 2017.] <http://www.enformable.com>.
10. **HARDIS-GROUP.** Eyesee: the drone allowing to automate inventory in warehouses. *Hardis-group*. [Online] Hardis-group. [Citace: 18. 1 2017.] <http://www.hardis-group.com>.
11. **FLOOD, Zoe.** From killing machines to agents of hope: the future of drones in Africa. *Theguardian*. [Online] Guardian News and Media, 27. 7 2016. [Citace: 18. 1 2017.] <https://www.theguardian.com/world/2016/jul/27/africas-drone-rwanda-zipline-kenya-kruger>.

12. **LIU, Hongzuo.** Drone waiters are ready to serve in Singapore. *Cnet*. [Online] CBS Interactive Inc., 17. 2 2015. [Citace: 18. 1 2017.] <https://www.cnet.com/news/singapore-has-drone-waiters-ready-to-take-your-order/>.
13. **KRISHNA, K. R.** *Push button agriculture*. Oakville : Apple Academic Press, 2016. ISBN 9781771883047.
14. **HOHENLOHE, Stephan zu.** *Drony*. Frýdek-Místek : Alpress, 2016. ISBN 9788075432346.
15. **PARIKH, Jay.** Aquila's First Flight: A Big Milestone Toward Connecting Billions of People. *Newsroom*. [Online] newsroom, 21. 7 2016. [Citace: 21. 1 2017.] <http://www.newsroom.fb.com/news/2016/07/aquilas-first-flight-a-big-milestone-toward-connecting-billions-of-people/>.
16. **X.COMPANY.** BALLOON-POWERED INTERNET. *X company*. [Online] X company. [Citace: 21. 1 2017.] <https://www.x.company/loon/>.
17. **HERN, Alex.** Amazon claims first successful Prime Air drone delivery. *Theguardian*. [Online] Guardian News and Media, 14. 12 2016. [Citace: 21. 1 2017.] <https://www.theguardian.com/technology/2016/dec/14/amazon-claims-first-successful-prime-air-drone-delivery>.
18. **HOJGR, Radek a STANKOVIČ, Jan.** *GPS*. Brno : Computer Press, 2007. INSB 9788025117347.
19. **Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI.** GALILEO - Evropský globální navigační družicový systém. *Czechspaceportal*. [Online] Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI. [Citace: 4. 2 2017.] <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>.
20. **CZECHSPACEPORTAL.** Čínský navigační systém Beidou / Compass. *Czechspaceportal*. [Online] Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI. [Citace: 16. 3 2017.] <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/gnss-mimo-evropu/cinsky-beidou---compass/>.
21. **EL-RABBANY, Ahmed.** *Introduction to GPS*. Boston : Artech House, 2002. ISBN 9781580531832.
22. **BHATTA, B.** *Global navigation satellite systems*. Hyderabad : BS Publications, 2011. ISBN 9780415665605.

23. **GPS.GOV.** Space Segment. *gps.gov*. [Online] National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. [Citace: 9. 2 2017.] <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>.
24. —. Control Segment. *gps.gov*. [Online] National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, 14. 10 2016. [Citace: 4. 2 2017.] <http://www.gps.gov/systems/gps/control/>.
25. **VAN DIGGELEN, Frank Stephen Tromp.** *A-GPS*. Boston : Artech House, 2009. ISBN 9781596933743.
26. **ALDEBARAN.** DOPPLERŮV JEV – MOTIVACE. *aldebaran*. [Online] OPPA CZ. [Citace: 7. 2 2017.] <http://www.aldebaran.cz/lab/doppler/>.
27. **SCHILDT, Herbert.** *Mistrovství - Java*. Brno : Computer Press, 2014. ISBN 9788025141458.
28. **HEROUT, Pavel.** *Učebnice jazyka Java*. České Budějovice : Kopp, 2011. ISBN 9788072323982.
29. **EF JČU.** Vícekriteriální rozhodování za jistoty. *ef.jcu.cz*. [Online] [Citace: 16. 3 2016.] <http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/tspp/data/teorie/Vicekritko.pdf>.
30. **KÜMMEL, Roman.** *Cross-Site Scripring v praxi*. Zlín : Tigris s.r.o., 2011. ISBN 978-80-86062-34-1.

8 Seznam zkratek

UAV – Unmanned Aerial Vehicles – bezpilotní letecké prostředky

MTOM – Maximum Takeoff Mass – maximální hmotnost pro vzlet

API – Application Programming Interface – rozhraní pro programování aplikací

Wi-Fi (Wi-fi, WiFi, Wifi, wi-fi, wifi) – bezdrátová komunikace v počítačových sítích

SDK – Software development kit – sada vývojových nástrojů umožňující vytváření aplikací

ÚCL – Úřad pro civilní letectví České republiky