



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v ČB

Pedagogická fakulta

Katedra informatiky

**Ovládání dronu prostřednictvím mobilního
zařízení**

Controlling of a drone via a mobile device

Bakalářská práce

Vypracoval: Tomáš Slačík

Vedoucí práce: Mgr. Šimandl Václav, Ph.D.

České Budějovice 2023

Zadání bakalářské práce

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Pedagogická fakulta

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš SLÁČÍK**
Osobní číslo: **P20500**
Studijní program: **B7507 Specializace v pedagogice**
Studijní obor: **Informační technologie a e-learning**
Téma práce: **Ovládání dronu prostřednictvím mobilního zařízení**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky**

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je vytvořit mobilní aplikaci pro mobilní zařízení se systémem iOS, pomocí níž bude možné ovládat kvadrokoptéru DJi Phantom 4. Aplikace pro ovládání dronu bude umožňovat vytvoření sekvence příkazů, která bude sloužit jako letový plán. Pomocí příkazů bude možno s dronem pohybovat dopředu, dozadu, doprava, doleva na určitou vzdálenost, měnit letovou výšku, vzlétnout do určité výšky a přistát. Dále budou k dispozici příkazy k ovládání gimbalu, na kterém je umístěna kamera, a také příkazy k ovládání nastavení kamery samotné (zejména zapnutí/vypnutí nahrávání videozáznamu a pořízení fotografie). V aplikaci bude možné kontrolovat aktuální stav dronu (letová výška, stav baterie, rychlost pohybu). Příkazy budou v podobě bloků, které uživatel bude moci pomocí grafického rozhraní vkládat do sekvence a případně je z této sekvence odebírat. Tuto sekvenci bude možné uložit do paměti mobilního zařízení a také ji odsud načíst. Aplikace bude obsahovat funkcionalitu minimalizující riziko havárie dronu (spočívající např. v kolizi s jiným objektem, let mimo dosah operátora či ve vybití baterie během letu). Na základě testování vytvořené aplikace student určí možnosti použití aplikací umožňujících let dronu podle předem připraveného letového plánu a jejich limity spočívající především v otázkách bezpečnosti provozu dronu.

Rozsah pracovní zprávy: **40**
Rozsah grafických prací: **CD ROM**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

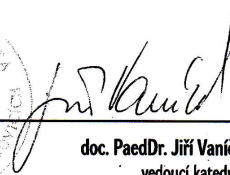
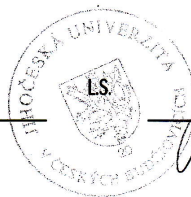
1. About Swift – The Swift Programming Language. Swift.org [online]. Apple, 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://docs.swift.org/swift-book/>
2. Apple Developer [online]. Apple, 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://developer.apple.com/>
3. Bezpilotní letadla. Úřad pro civilní letectví [online]. Praha: Úřad pro civilní letectví, 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/>
4. DJI Mobile SDK Documentation. DJI Developer Technologies [online]. DJI, 2019 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/api-reference/ios-api/Components/SDKManager/DJISDKManager.html>
5. Herout, P. Testování pro programátory. České Budějovice: Kopp, 2016. ISBN 978-80-7232-481-1.
6. Lacko, Ľ. Vývoj aplikací pro iOS. Přeložil M. Heroudek. Brno: Computer Press, 2018. ISBN 978-80-2514-942-3.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Václav Šimandl, Ph.D.**
Katedra informatiky

Datum zadání bakalářské práce: 11. dubna 2022
Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2023



doc. RNDr. Helena Koldová, Ph.D.
děkanka



doc. PaedDr. Jiří Vaníček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 11. dubna 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 18. dubna 2023.

Tomáš Slačík

Anotace

Cílem bakalářské práce je vytvořit mobilní aplikaci pro mobilní zařízení se systémem iOS pomocí níž bude možné ovládat kvadrokoptéru DJi Phantom 4. V teoretické části práce jsou blíže popsány drony, jejich vlastnosti a využití. Následně je také popsána aktuální legislativa týkající se létání s drony. V praktické části je vytvořena aplikace, která pomocí letových plánů dron ovládá. V aplikaci je možné tyto letové plány vytvářet pomocí předřípravených příkazů. Letové plány je také možné ukládat do úložiště mobilního zařízení a následně je také načítat. Aplikace je intuitivní a jednoduchá na ovládání.

Klíčová slova

dron, DJI, mobilní aplikace, vývoj software, iOS

Abstract

The aim of the bachelor thesis is to create a mobile application for iOS mobile devices, which will be used to control the quadcopter DJi Phantom 4. The theoretical part of the thesis describes drones, their properties and usage. Subsequently, the current legislation concerning flying with drones is also described. In the practical part, an application is created that uses flight plans to control the drone. In the application it is possible to create these flight plans by means of predefined commands. The flight plans can also be stored in the mobile device storage and then can also be loaded. The app is intuitive and simple to use.

Keywords

drone, DJI, mobile application, software development, iOS

Poděkování

Chtěl bych poděkovat mým rodičům za podporu, kterou mi poskytovali. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Václavu Šimandlovi, Ph.D. za vedení mé práce a rady, které mi poskytl. A také bych chtěl poděkovat Mgr. Patriku Klofáčovi za zapůjčení školního dronu.

Obsah

1	Úvod	10
1.1	Cíle práce	10
1.2	Metody práce	11
2	Bezpilotní letadlo	13
2.1	Kategorie dronů	13
2.1.1	Multikoptéry	14
2.1.2	Helikoptéry	14
2.1.3	Drony s pevným křídlem	15
2.2	Využití dronů	15
2.2.1	Zemědělství	16
2.2.2	Kinematografie	17
2.2.3	Vojenská technika	18
2.2.4	Logistika	19
2.2.5	Stavebnictví	20
2.2.6	Záchranné složky	20
2.3	Užití umělé inteligence	21
2.4	Výrobci dronů	22
2.4.1	DJI	22
2.4.2	Parrot	24
2.4.3	XAG	25
2.5	Legislativa dronů v ČR	26
2.5.1	Otevřená kategorie	27
2.5.2	Specifická kategorie	28
2.5.3	Certifikovaná kategorie	28
3	DJI Software Development Kit	29
3.1	Definice a příklady SDK	29
3.2	DJI Developer	30

3.3	Mobile SDK	31
3.3.1	V4	31
3.3.2	V5	32
3.4	Windows SDK	33
3.5	Cloud API	33
3.6	DJI flight simulator	33
4	Vývoj aplikace	36
4.1	Analýza	36
4.1.1	MVVM	37
4.2	Design	38
4.2.1	Návrh UI	40
4.2.2	Řešení kolizí	41
4.2.3	Řešení letu mimo dosah pilota	42
4.3	Příprava prostředí	42
4.4	Absolvování online výcviku	43
4.5	Vývoj	44
4.5.1	Registrace aplikace	44
4.5.2	Logika letového plánu	45
4.5.3	Implementace MVVM	46
4.5.4	Implementace UI	47
4.5.5	Ukládání letových plánů	49
4.5.6	Vytvoření ikony pro aplikaci	49
4.5.7	Nasazení na AppStore	51
5	Testování	53
6	Závěr	55
	Seznam použité literatury a zdrojů	65

1 Úvod

Ve své bakalářské práci vyvíjím aplikaci, která je určená spíše pro začátečníky ve světě bezpilotních letounů, který se stále víc dostává do rukou novým lidem. Z toho důvodu kladu důraz na jednoduché a přehledné grafické rozhraní aplikace. Díky tomu bude uživatel jasně vědět, co může s dronem dělat a jaké jsou jeho možnosti. Také se zaměřuji na bezpečnost, aby se minimalizovalo riziko poruchy dronu či zranění nějaké osoby.

Aplikace je dělána pro drony od populární společnosti DJI podporující Mobile SDK V4, což je SDK oficiálně vydané společností DJI. Vývoj probíhá pro mobilní zařízení s operačním systémem iOS, vyvíjeným společností Apple.

1.1 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vytvořit mobilní aplikaci pro mobilní zařízení se systémem iOS pomocí níž bude možné ovládat kvadrokoptéru DJI Phantom 4. Aplikace pro ovládání dronu umožňuje vytvoření sekvence příkazů, která slouží jako letový plán. Pomocí příkazů je možné s dronem pohybovat dopředu, dozadu, doprava, doleva na určitou vzdálenost, měnit letovou výšku, vzlétnout do určité výšky a přistát. Dále jsou k dispozici příkazy k ovládání gimbalu, na kterém je umístěna kamera, a také příkazy k ovládání nastavení kamery samotné (zejména zapnutí/vypnutí nahrávání videozáznamu a pořízení fotografie). V aplikaci je možné kontrolovat aktuální stav dronu (letová výška, stav baterie, rychlost pohybu). Příkazy jsou v podobě bloků, které uživatel může jednoduše pomocí grafického rozhraní vkládat do sekvence a případně je z této sekvence odebírat. Tuto sekvenci je možné uložit do paměti mobilního zařízení a také ji odsud načíst. Aplikace obsahuje funkcionalitu minimalizující riziko havárie dronu (spočívající např. v kolizi s jiným objektem, let mimo dosah operátora či ve vybití baterie během letu). Na základě testování vytvořené aplikace jsem určil možnosti použití aplikací umožňujících let dronu podle předem připraveného letového plánu a jejich limity spočívající především

v otázkách bezpečnosti provozu dronu.

1.2 Metody práce

Jako vývojové prostředí pro realizace aplikace bylo zvoleno oficiální IDE od společnosti Apple, Xcode. Díky tomuto vývojovému prostředí byl k dispozici veškerý arsenál pro vývoj mobilních aplikací pro platformu iOS. Xcode umožňuje zvýrazňovat syntaxi kódu a kompilovat kód do buildu, který bude spustitelný, na mobilním zařízení s operačním systémem iOS. Jako další bude toto vývojové prostředí poskytovat přístup k emulátoru mobilních zařízení. To znamená, že při každém zkompilem buildu nebude nutnost nahrávat aplikaci do reálného mobilního zařízení, ale pouze bude stačit spustit emulátor, který velmi přesně napodobuje chování mobilního zařízení. Ke zvolení emulování jsou všechny podporované mobilní zařízení vydané společností Apple, díky čemuž je možnost aplikace jednoduše uzpůsobit širšímu počtu zařízení a nevázat se na pouze jeden model mobilního zařízení.

Dále používám dependency manager s názvem CocoaPods. Díky dependency manageru není potřeba obstarávat veškeré knihovny manuálně, ale pouze je definován soubor se specifickým názvem „Podfile“, kde jsou knihovny vyjmenované a pomocí skriptů se hromadně instalují a aktualizují.

Hlavní knihovna, kterou bude aplikace využívat je DJI-SDK-iOS, která nabízí většinu potřebných komponent pro ovládání dronu. Knihovna umožňuje s dronem pohybovat, otáčet a létat nahoru a dolů. Pomocí této knihovny bude realizováno základní ovládání.

Jakožto pojištění proti ztrátě kódu na svém zařízení, kde je kód psán a kompilován, je použit verzovací nástroj pro zálohování kódu. Konkrétně je použit verzovací nástroj s názvem Git. Kromě zálohy případně ztraceného kódu se verzovací nástroj mohl také hodit pro případné navrácení změn do dřívější podoby. To bude užitečné zejména při analyzování chyb v kódu. Jelikož na projektu jsem dělal sám a není potřeba vést různé verze, nebylo využito žádné

konkrétní strategie větvení a veškeré commity jsou v jednotné větvi. Využívání větvících strategií by pouze zpomalovalo čas vývoje a bylo by v tomto případě neefektivní.

Při návrhu struktury aplikace jsem používal vývojářský model MVVM, díky čemuž je kód přehlednější a standardizovaný.

Při vývoji bylo nacházeno řešení, mimo dokumentaci a literaturu, pomocí online programátorských fór (např. StackOverwlow.com) a také na streamovací platformě youtube.com, kde má také oficiální profil společnost DJI, která zde nahrává instruktážní videa pro let s dronem, správnou manipulaci a také rady a návody ohledně SDK.

2 Bezpilotní letadlo

V současné době se stále více můžeme setkávat s bezpilotními letadly. Nejčastěji můžeme o bezpilotních letadlech slyšet pod názvem dron. Tento pojem je převzatý z angličtiny, kde se používá pro označení bezpilotního letadla výraz *drone*. Avšak původně mělo toto slovo jiný význam, a sice označovalo samce od včely neboli trubce. Podobně tak je to i v němčině, která používá výraz *Drohne*. V angličtině se poprvé tento výraz objevil v roce 1946. Tehdy se označení používalo slangově a bylo metaforou pro nemotorné chování tehdejších bezpilotních letadel, které se označovali pod zkratkou UAV (Unmanned Aerial Vehicle) [1].

Bezpilotní letadlo, jak už název napovídá, je letadlo, které není řízeno pilotem na palubě, ale je řízeno z dálky. Existují tři možnosti pomocí níž můžeme dron ovládat. První z nich je fyzický ovladač, který je obvykle dodáváný společně s dronem. Druhá možnost je ovládání pomocí softwaru a místo ovladače může být použit třeba chytrý telefon. Další možností je, že dron může být plně autonomní, takže pro svůj chod nepotřebuje žádný ovladač a veškerou svoji činnost provádí autonomně, či automaticky [2]. Vývoj autonomních dronů jde ruku v ruce s vývojem umělé inteligence, která v posledních letech zažívá rapidní vývoj. Právě díky tomu se také objevují stále lepší verze dronů, které umějí využívat technologie umělé inteligence jako je třeba Machine Learning, Deep Learning a Computer Vision [3]. Všechny tři možnosti se u některých dronů také dají kombinovat a je tedy možné ovládat dron pomocí mobilní aplikace, která používá ovladač pro přenos signálu a dává příkaz k automatickému letu dle daných instrukcí.

2.1 Kategorie dronů

Bezpilotní letadla se obecně dají specifikovat podle křídel na drony s pevným křídlem, multikoptéry a helikoptéry. Každá kategorie má své výhody a nevýhody [4].

2.1.1 Multikoptéry

Nejpopulárnější drony v současné době jsou právě multikoptéry. Tento typ provedení můžeme najít skoro ve všech oblastech. Jejich hlavní výhodou je multifunkčnost. Drony, díky svému provedení, mohou být osazeny různými příslušenstvími. Při vzletání nepotřebuje ani tolik prostoru vzhledem k tomu, že z místa stoupá vzhůru. Další výhodou potom může být jejich schopnost setrvat ve vzduchu na určitém místě, což v některých případech užití může být i podmínka [5].



Obrázek 1: Multikoptéra ve vzduchu

Jejich největší nevýhodou je výdrž baterie. Točení několika rotory zároveň si vybírá svoji daň na baterii, a tak je potřeba časté dobíjení. To je obzvláště znatelné pokud máme multikoptéru se šesti a více rotory. Většina multikoptér není schopná ani jedné hodiny letu bez nabití [5].

2.1.2 Helikoptéry

Bezpilotní letadla s pouze jedním velkým rotorem. Konstrukčně a designově se podobají reálným helikoptérům. Většinou jsou tyto drony dělány ve větších

velikostech a jsou také mnohem komplexnější. Kvůli tomu je provoz tohoto typu dronu náročnější a může být také mnohem nebezpečnější. Na druhou stranu v kombinaci s robustním tělem a větším rozměrem je tento typ vhodný pro převoz většího nákladu [4],[5].

2.1.3 Drony s pevným křídlem

Tento typ dronů se podobá klasickým letadlům. Používají principy aerodynamiky pro svůj prospěch, což značně zvyšuje jejich efektivitu výdrže ve vzduchu. Oproti ostatním typům jsou také rychlejší. Ovšem kvůli svému designu potřebují poměrně velký prostor pro operování. Je potřeba dostatek místa pro vzlet, který může být proveden i z ruky pilota. Toto zapříčiňuje také vyšší nároky na zručnost pilota a jeho zkušenosti. Tento typ není příliš vhodný pro začátečníky [4],[5].

2.2 Využití dronů

Drony se staly jedním z nejrychleji rostoucích technologických odvětví a jejich využití se šíří do mnoha oblastí. Tyto bezpilotní letouny nabízejí široké možnosti pro průmysl, zemědělství, film a televizi, bezpečnostní a vojenské účely, dopravu a logistiku, realitní a stavební průmysl, záchranné operace při katastrofách a meteorologii a monitorování životního prostředí. Je zřejmé, že drony nabízejí mnoho možností a jsou cenným nástrojem pro mnoho odvětví. Jejich schopnost rychle a efektivně provádět úkoly, které by jinak byly obtížné nebo nemožné je nezpochybnitelná a jejich využití se bude nadále rozšiřovat.

Skutečnost jak rychle roste využitelnost dronů dokazují také odhady. Společnost PWC vydala v roce 2018 zprávu, ve které se zaměřuje na dopad dronů na ekonomiku ve Velké Británii. Díky pozitivním předpokladům, které ze zprávy vyplynuly se dalo očekávat, že v roce 2030 bude ve Velké Británii zhruba 76 000 aktivních dronů napříč všemi profesemi [6]. Ovšem v roce 2022 se společnost rozhodla zprávu přezkoumat a přišla s ještě pozitivnějším vý-

sledkem. A sice, že by Velká Británie mohla mít v roce 2030 zhruba 900 000 aktivních dronů, namísto původních 70 000 [7].

2.2.1 Zemědělství

V zemědělství se dají drony využít na spoustu činností. Jeden z největších využití mají bezpilotní letadla v oblasti postřiků pesticidy, což je fyzicky náročná práce. Obzvláště v nerovném terénu může být tato úloha velmi vyčerpávající, a v některých případech dokonce nebezpečná. Použitím dronu se tedy práce zefektivní a také se zabrání možnému zranění osob. Rozprašování pesticidů je také za pomoci dronů velmi rychlé. Díky tomu, že dron může rozpráshit přípravky na velkou plochu naráz, což snižuje potřebu ručního aplikování [8].

Za použití kamery, umělé inteligence a NDVI je také možné využít drony k prevenci nákaz a kontrolu kvality plodin. Na základě získaných snímků a umělé inteligence dokáže případný software rozpoznat problémy, na které může následně farmář včasné reagovat. Oproti klasickému přístupu, kde kontrolu plodů musí provádět člověk, je tento postup mnohem rychlejší a efektivnější [8].

Zemědělských dronů hojně využívá Asie. Například Vietnam, jakožto druhá největší zemědělská země v Asii, používá drony k ochraně úrody. Běžně se drony využívají pro pěstování rýže, manga, citrónů, banánů, čaje a dalších. Drony kromě Vietnamu také využívá třeba Malajsie, Filipíny a samozřejmě Čína [9]. Vzhledem k tomu, že Čína je domovem pro zhruba 200 zemědělských plodin je zde spousta různých škůdců, proti kterým je potřeba se bránit. Podle Čínského ministerstva zemědělství byla v roce 2016 ztráta 24 milionů tun zemědělských plodin napříč zemí právě kvůli škůdcům a nákazám [10]. Zefektivněním boje proti škůdcům za pomoci dronů se dá předpokládat výrazné zmenšení ztrát.

V Evropě se zatím využívání dronů pro zemědělství rozšiřuje pozvolna. Jedna z příčin je evropská legislativa, která má přísné podmínky pro plošné postřiky. Naštěstí se v současné době začínají tyto podmínky rozvolňovat právě díky jasným výhodám, které s sebou drony přinášejí [11].

2.2.2 Kinematografie

I v zábavním průmyslu najdou bezpilotní letadla své využití. Ať už se jedná o akční scény do celovečerního filmu, umělecké záběry do dokumentů o přírodě či doplňující záběry na prostřihy. Fantazii se meze nekladou a v tomto odvětví to platí dvojnásob. Proto se můžeme setkávat se stále přibývajícimi možnostmi, jak natočit skvělý film.

Výhody, které bezpilotní letadla přinášejí, se neobešly bez povšimnutí také v Hollywoodu. Záběry ze vzduchu nejsou žádnou novinkou. Při natáčení se běžně používaly kamerové jeřáby nebo opravdové helikoptéry s pilotem. Helikoptéra pak může mít štáb uvnitř nebo pro akčnější scény může mít připevněné natáčecí vybavení na sobě. Ovšem důvodem proč se drony stávají tak oblíbené i v tomto odvětví, je cena. Náklady spojené s využíváním helikoptér jsou v porovnání s dronem obrovské. Samotná helikoptéra může pro zakoupení stát několik milionů dolarů. Při zapůjčení se pak jedná o minimálně 25 000 dolarů, což je v přepočtu zhruba 550 000 Kč, na jeden den. Obsluha helikoptéry a speciální kamerové vybavení potom může stát až dalších 10 000 dolarů nebo 220 000 Kč. Při zapůjčení dronu s kamerou i s obsluhou se můžeme dostat na částku od 5 000 dolarů nebo 110 000 Kč na den [12].

Drony však nepřevládají pouze v záběrech pořízených z výšky. Můžou se také využít při natáčení jedoucích aut. Takovéto záběry se dříve pořizovali pomocí speciálně upravených aut, které na sobě měli různé konstrukce osazené kamerami. Stejně jako u nákladů spojených s helikoptérou i zde jsou náklady značně vysoké. Cena výroby speciálně upraveného auta je kolem 500 000 dolarů, což je v přepočtu zhruba 11 000 000 Kč. Při zapůjčení se odhaduje cena na 10 000 dolarů. Tato cena však nezahrnuje obsluhu [12]. Natáčení pomocí aut může být také nebezpečné, obzvláště při rychlých scénách existuje jisté riziko úrazu obsluhy vozidla. Použití dronu je tedy nejen levnější, ale také bezpečnější, neboť místo zlomených kostí hrozí pouze zlomené vrtule.

Drony běžně také využívá zpravodajství České televize. Použity byly třeba

pro pořízení záběrů na povodně, výbuch plynu, demonstrace, Olympijský park na pražské Letné nebo opravu dálnice D1 [13].

2.2.3 vojenská technika

Je to právě toto odvětví ve kterém byl dronům položen základ. V období první světové války se totiž drony začali původně vyvíjet jakožto pohyblivé terče pro trénink vojáků [14],[15]. Proto není divu, že se i zde setkáváme se stále lepší technologií a možnostmi jak drony využít.

Využití dronů v armádě se dá shrnout do následujících kategorií podle účelu použití na bojové, cíle a návnady, průzkumné a výzkumné a vývojové. Bojové se starají o ničení nepřátelských cílů. Cíle a návnady slouží pro výcvik nebo jako návnada pro nepřítele. Průzkumné mají za úkol sbírat informaci pomocí fotografií či videa a v reálném čase je posílat zpět. Výzkumné a vývojové jsou určeny pro další zlepšování technologií spojených s drony [15].

Své využití našly drony také v současném nešťastném válečném konfliktu na Ukrajině. Zde se používají převážně na průzkumné účely. Do centra pozornosti se ovšem dostaly drony bojového rázu. Ty se postaraly o zamezení zásobování na straně Ruska [16]. Tyto úspěchy poskytly velkou strategickou výhodu, neboť logistika paliva, munice a zásob na frontu je kritická pro fungování vojsk. A takovýto zásah také velmi snižuje morálku vojáků. Bezpilotní letadlo, které má za úkol ničit nepřátelské cíle může být vybaveno raketomety nebo v menších variantách může jednoduše nést nálož, kterou shazuje na menší cíle [17].

O účinnosti dronů na Ukrajině se ovšem objevují jisté skepse. Za velkým úspěchem, který drony předvedly na území Ukrajiny totiž stojí podmínky, které se pravděpodobně nebudou opakovat. Jedná se o nepřipravenost ze strany Ruska, která dovedla drony k úspěchu. Nepřítomnost protivzdušné obrany krátkého dosahu v prvních měsících konfliktu dala dronům velký prostor k pohybu. Pár měsíců nato se ovšem účinnost dronů začala propadat právě díky vybavení proti této hrozbě. Začalo se více využívat zbraní typu protiletadlový

raketový komplet, který si s drony dokáže poradit. Navíc se ukázalo, že drony mají ještě jeden slabý bod. Dron, který není plně autonomní potřebuje téměř nepřetržitou bezdrátovou komunikaci s ovladačem pilota. Nepřátelská strana tedy může použít elektronický útok, který zhorší či úplně zastaví spojení mezi pilotem a dronem, čímž se dron stává zcela zbytečným [18].

2.2.4 Logistika

Přepravě zásilek pomocí dronu položil roku 2013 základy Jeff Bezos, v té době výkonný ředitel společnosti Amazon. Tuto možnost doručení zásilek nazval PrimeAir. Při představení této novinky bylo také zveřejněno demonstrativní video, ve kterém jsou vyobrazeny drony sbírající zásilky ze žlutých kýblů ve středisku amazonu, a následně se zásilkami odlítají pryč. Cílem bylo doručit balíček, vážící méně než 2 Kg, zákazníkovi do 30 minut [19],[20].

PrimeAir ovšem zažíval velmi trnitý vývoj. Po dobu testování se velmi často stávalo, že drony narážely do překážek či celkově nedokázaly doručit úspěšně zásilku. Trvalo to celé tři roky, než se Amazonu povedlo dostat se do bodu, kdy drony dokázaly doručit zboží. Konkrétně v roce 2016 ve Velké Británii se pomocí dronu podařilo doručit balíček zcela bez zásahu pilota [21]. Po tomto úspěchu se několik dalších let nedělo nic převratného. Největší překážkou bylo dostat potřebná povolení od úřadu letectví. Ten do té doby provoz dronů, které by samovolně roznášely zásilky, zakazoval. Pokroku se Amazon dočkal v roce 2020, kdy dostal potřebnou certifikaci na provoz těchto dronů [20]. Následujících pár let tak Amazon strávil testováním a laděním, až nakonec na konci roku 2022 oficiálně spustil možnost doručit zboží pomocí bezpilotního letadla. Lidé, žijící ve vybraných oblastech v USA, si tak můžou na internetovém obchodě amazon.com objednat zásilku a nechat si jí doručit dronem [22].

Doručování zásilek pomocí bezpilotních letadel ovšem není čistě záležitost Amazonu. Své vlastní provedení také vyvíjí společnost Alphabet Inc., která poskytuje rozvoz pomocí dronů pod svojí dceřinou společností Wing Aviation LLC [20]. Ta vytvořila aplikace pro chytré mobilní telefony, ze které si

lidé ve vybraných oblastech můžou objednat třeba sušenky nebo kávu. Objednávku následně doručí dron, který bez přistání spustí zásilku na zem pomocí lana [23].

Zájem o tento typ doručování zásilek stále stoupá. Na což odpovídají i další společnosti. Malé balíčky pomocí dronů už také zasílá třeba společnost United Parcel Service nebo dokonce Walmart. Budoucnost tohoto doručování vypadá slibně. To potvrzují i předpovědi, které uvádí, roční nárůst jednotek dronů na 76 % [24].

2.2.5 Stavebnictví

Drony ve stavebnictví se využívají díky jejich schopnosti dostat se do prostor, kam by bylo jinak obtížné se dostat. Nejvíce užitečné je to u vysokých budov. Drony jsou schopny pořídit fotografie či přenášet živý přenos z kamery. Díky tomu se může dělat prohlídka celkového stavu objektu. V případě prasklin či jiných stavebních závad, tak můžou lidé zodpovědní za správu objektu patřičně reagovat [25].

Další využití může být pro vytvoření 3D modelu budov či objektů. Dron může celý objekt zmapovat a vytvořit 3D model, který následně může sloužit pro vytváření stavebních plánů [25].

2.2.6 Záchranné složky

Uplatnění lze hledat také mezi záchrannými složkami. Díky jednoduchému přístupu dronů na místa, kam by jinak bylo obtížné se dostat je využití v tomto odvětví velmi cenné. Dále je také možné pomocí dronů přepravit krev nebo důležité zdravotnické pomůcky. V praxi se drony nasadily třeba v roce 2010 po zemětřesení na Haiti, v roce 2012 po hurikánu v USA a v roce 2015 po zemětřesení v Nepálu [26].

Drony využívají také složky integrovaného záchranného systému v České Republice. Při požáru v roce 2022, který vypukl v Národním parku České

Švýcarsko byly drony hojně využívány. Díky termovizi, kterou byly drony vybaveny, bylo možné kontrolovat současný vývoj požáru mnohem detailněji. Díky tomu se lépe hledala skrytá ohniska, která jsou pouhým okem hůře zahlédnutelná [27].

Policie využívá bezpilotní letadla pro monitorování chráněné krajinné oblasti Brdy. Tuto technologii využívají od roku 2017, kdy Středočeský kraj nakoupil dva drony vybavené termokamerou a klasickou kamerou. Tento nákup stál kraj 2 miliony korun. Policie pomocí nich kontroluje zejména nepovolené vjezdy řidičů, skládky, těžbu dřeva nebo dokonce stanování turistů [28].

2.3 Užití umělé inteligence

Umělá inteligence není žádný nový obor. Dokonce by se dalo hovořit o opaku. První zmínky o umělé inteligenci se pojí k roku 1943, kdy dvojice vědců Warren McCulloch a Walter Pitts začali přemýšlet nad možností použití umělých neuronů. Představili tedy model, na kterém popisovali umělé neurony měnící stavy zapnuto a vypnuto, přičemž změna stavu neuronu byla ovlivněna stimulací od sousedních neuronů [29].

Jeden z velkých pokroků, který umělá inteligence zaznamenala je využití hlubokého učení (deep learning). Jedná se o strojové učení, které využívá více vrstev výpočetních prvků. Experimenty využívající podobné techniky se objevili někdy v roce 1970, ovšem až teprve v roce 2011 se zájem o tuto technologii zvýšil. Za pomoci technik hlubokého učení se projevila drastická vylepšení v rozpoznávání řeči a digitálních fotek. Tyto úspěchy se zasloužily o nárůst zájmu o umělou inteligenci mezi studenty a také firmami. Za vylepšení umělé inteligence se také zasloužil vývoj silnějšího hardware, který má mnohonásobně větší výpočetní sílu, než v minulých desetiletí [29].

Díky pokrokům popsaným výše se také zrodila nová technologie umělé inteligence. Nese název počítačové vidění (computer vision) a zabývá se zpracováním informací ze senzorů k sestavení logického modelu svého okolí. Jedná

se o výkonnostně náročnou záležitost, která je možná díky pokrokům v oblasti hardware, a to zejména v procesorech a grafických kartách. Dále computer vision využívá metody hlubokého učení ke svému úspěchu. Computer vision se snaží co nejpresněji napodobit lidské vidění, k čemuž používá kamery, algoritmy a data. Dat potřebuje tato technologie opravdu hodně, což je jeden z důvodů proč je považována za výkonnostně náročnou. Čím více dat máme, tím lepší výsledky můžeme očekávat, je ovšem nutné, aby data byla zpracovávána rychle [30]. Jestliže tedy chceme algoritmus, který rozpozná pneumatiku musíme mu předložit obrázky s pneumatikami. Následně obrázky rozloží na jednotlivé pixely a každý pixel oštitkuje. Na základě těchto štítků provede matematické operace a odhadne co asi "vidí"[31].

Drony využívají umělou inteligenci, konkrétněji počítačové vidění, při skenování svého okolí pro případné vyhnutí se překážkám. To můžou využít zejména drony určené pro logistické účely, kdy se například dron může vyhnout překážce a dále pokračovat na místo doručení zásilky. Druhé využití je také pro aktivní sledování objektů, které se hýbají (člověk, auto, zvíře). Tohoto využívají převážně drony určené pro kinematografii, kdy operátor může určit objekt, který má sledovat kamera na dronu a dron se mezitím může nezávisle pohybovat [32].

2.4 Výrobci dronů

Společně s nárůstem popularity dronů narůstá také počet společností, které v tomto odvětví působí. Z výzkumu prováděném německou firmou Droneii vyplívá, že v současné době se za nejpopulárnější značky dronů požaduje DJI, Parrot, Skydio, XAG a JOUAV [33].

2.4.1 DJI

Společnost DJI, neboli celým názvem Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd., je čínská společnost zabývající se výzkumem, výrobou a distribucí

bezpilotních letounů pro civilní použití napříč mnoha obory [34].

Společnost založil Frank Wang roku 2006 chvilku poté, co dokončil své studium na univerzitě Hong Kong University of Science and Technology, kde ve své závěrečné práci vytvořil systém pro ovládání bezpilotních platforem [35].

V roce 2013 společnost vydala svůj první produkt – DJI Phantom. Jedná se o bezpilotní kvadrokoptéru vážící 670 gramů. Rozměrově je dron 35 centimetrů široký, 35 centimetrů dlouhý a 19 centimetrů vysoký. Dokáže létat rychlostí 10 metrů za vteřinu a stoupat či klesat rychlostí 6 metrů za vteřinu. Dron je vybaven LiPO baterií, díky které dron vydrží létat 10 až 15 minut. Co se ovladače týče, ten je napájen pomocí tužkových baterií a má maximální dosah 1000 metrů. První model ze série Phantom nemá kameru, místo ní je pouze záchytný bod pro kamery od cizích výrobců. V případě, že uživatel nevlastnil žádnou outdoorovou kameru byl dron použitelný pouze jako koníček. Nejčastěji se tedy k prvnímu Phantomu používala kamera značky GoPro [36].



Obrázek 2: DJI Phantom 1 [37]

Firma DJI ihned po vydání Phantom 1 začala pracovat na jeho nástupci. Ten na sebe nedal dlouho čekat. Ještě tentýž rok se totiž na trh uvedl model DJI Phantom 2 Vision, který poprvé obsahoval zabudovanou kameru. Ta uměla nahrávat ve FULL HD rozlišení a mohla být ovládána pomocí mobilní aplikace. Pro uživatele kterým se integrovaná kamera nelíbila vydala společnost DJI po

pár měsíců také model Phantom 2, který stejně jako jeho předchůdce neměl kameru a uživatel tak mohl používat třeba kameru GoPro [38].

V roce 2015 společnost DJI uvedla na trh rovnou 3 nové modely DJI Phantom 3 - Standard, Advanced a Professional. Tyto nové modely navazují na úspěch DJI Phantom 2 Vision a všechny mají výhradně integrovanou kameru. Již tedy není možné si ke dronu přimontovat vlastní. Rozdíly mezi jednotlivými modely je zejména v rozlišení kamery a výdrž baterie [39].

O rok později se modelová řada Phantom rozrostla o dalšího člena s inkrementovaným číslem. Phantom 4 společně se sebou přinesl velkou řadu vylepšení. Zejména nově představil technologii computer vision užívanou v civilních dronech. Pomocí ní dokáže dron lépe rozeznat překážky a tím zmenšit počet nehod. Také tuto technologii používá pro sledování objektů kamerou, zatímco se dron pohybuje. Je tedy například možné mít neustále na středu záběru osobu i když dron prolétá okolo ní. Kromě toho se klasicky vylepšilo i rozlišení kamery a výdrž baterie [40].

V současné době DJI nabízí velké množství dronů. Malé kvadrokoptérky, které se vejdou do kapsy jako třeba DJI Mavic mini. Velké kvadrokoptéry Phantom 4 v různých provedení. A třeba také FPV drony DJI Avata.

2.4.2 Parrot

Francouzská společnost Parrot SA byla založena již roku 1994 a dříve se věnoval bezdrátovým technologiím. Od roku 2017 se ovšem rozhodla plně věnovat bezpilotním letounům, což firmě pomohlo zmírnit ztráty, které doposud měla [41].

Parrot získal v roce 2019 zakázku v hodnotě 11 milionů dolarů na vývoj micro-dronů nové generace. Požadavek je, že se má jednat o bezpilotní letadlo, které váží méně než 1.4 kg, vydrží létat 30 minut v kuse, doletí až 3 km daleko a vejde se do vojákovy batohu [42].

Parrot v současné době nabízí 2 modely pro komerční prodej. První z nich je Parrot ANAFI Ai - kvadrokoptéra ve tvaru kudlanky. Tento dron je vyba-

ven 4K kamerou, která umí nahrávat až 120 snímků za vteřinu při rozlišení 1080p a 60 snímků za vteřinu při rozlišení 4K. Kamera má také podporu HDR. ANAFI také využívá stereoskopické kamery v kombinaci s umělou inteligencí pro mapování okolí a případnému vyhnutí se překážkám. Zajímavé je provedení ovladače, pomocí kterého se ANAFI ovládá. Ten totiž navazuje spojení s dronem pomocí 4G LTE mobilního připojení. Díky tomu může být dosah dronu skoro neomezený a uživatelé tedy nemusí mít strach, že při oblévání budovy ztratí signál [43].



Obrázek 3: ANAFI Ai [44]

Druhý nabízený dron je ANAFI USA, který se vyrábí ve spojených státech. Díky tomu se může dron využívat ve státní správě USA. Dron se liší od předchozí verze především termokamerou. To je ovšem jeho nejsilnější stránka. Oproti běžnému ANAFI je tento model ochuzen o 4G ovládání a je také o něco těžší [45].

2.4.3 XAG

Čínská firma na výrobu dronů specializující se na obor zemědělství, kterou založil Peng Bin. Původně se firma jmenovala XAIRCRAFT a zabývala se drony určené pro logistiku a záchranné operace. Od toho však později upustila a začala se plně věnovat zemědělství. V současné době pokrývá 50 % všech dronů v číně, které se používají pro zemědělské účely [46].

V současné době nabízí hned několik dronů například kvadrokoptéru XAG

P100 nebo vrtulník se dvěma vrtulemi XAG V40, díky nimž se dosahuje efektivnějšího rozprášení pesticidních přípravků [46].

2.5 Legislativa dronů v ČR

Ačkoliv je dron skvělý pomocník, může způsobit poměrně značné škody. Obzvláště ve špatných rukách. Nárůstu popularity a s tím spojeného potenciálního nebezpečí si také všimli zákonodárci. Právě proto vznikla nová legislativa na úrovni Evropské unie. Ta vešla v platnost začátkem roku 2021 a upravuje práva a povinnosti provozovatelů dronů a také pilotů. Tato legislativa navíc také obsahuje přechodná opatření, která platí do 2.12.2023 [47].

Tato úprava se zabývá zejména bezpečností. Nařizuje jak daleko lze létat od obydlené oblasti, jaká je maximální výška letu, jaký je minimální věk pilota a jak daleko od nezapojené osoby lze létat. Drony jsou navíc nově kategorizované do tří možných tříd: otevřená, specifická, certifikovaná [48].

Nově je také potřeba, aby provozovatel dronů drony registroval u úřadu pro civilní letectví. Po zaregistrování obdrží provozovatel od úřadu registrační číslo, které následně musí nalepit na každý dron, který provozuje. Registrační číslo v České republice je ve formátu: CZE + 12 alfanumerických znaků. Registrace není nutná jen ve dvou případech. První případ je, že dron váží méně než 250 gramů a nemá na sobě kameru, která by mohla zachycovat osobní údaje. Druhý případ je, že dron váží méně než 250 gramů a je považován za hračku. Za hračku se považuje takový dron, který je vyvinutý pro hraní pro děti do 14 let. Ten je identifikován označením CE a je na balení či v příručce je napsáno, že odpovídá směrnici č. 2009/48/ES. Jestliže výrobce dronu, který váží méně než 250 gramů, nechce považovat dron za hračku může na obal dát štítek s označením 14+ [49].

Registrovat se musí také piloti dronů (ti už na sebe štítky lepit nemusí). A to jak pro rekreační létání, tak i pro komerční účely. Pilot a provozovatel mohou být tatáž osoba, ale také nemusí. Je tedy možné pilotovat dron, který má

jiného provozovatele. Na rozdíl od registrace dronů je potřeba, aby se pilot zaregistroval i když bude létat pouze s hračkou. Ovšem ne na všechny drony stačí pouhá registrace pilota, ale je také potřeba splnit online výcvik a test, jehož výsledkem je elektronický průkaz [49]. Více o těchto pravidlech v následující podkapitole.

2.5.1 Otevřená kategorie

Tato kategorie je pravděpodobně tou nejdůležitější. Spadá do ní totiž téměř každý dron, který se dá běžně zakoupit. Ať už je to malá helikoptéra nebo DJI Matrice. Ovšem ne pro všechny drony v této kategorii platí stejná pravidla. Existují totiž další dvě podkategorie, které můžou být na první pohled matoucí. První podkategorie má název provozní omezení (A1 – A3), která určuje, za jakých podmínek může dron létat. Druhá podkategorie nese název fyzické vlastnosti dronů (C0 – C4), která na základě fyzických vlastností dronu určuje, jaká provozní omezení se na něj vztahují [48].

Podkategorie provozního omezení také požaduje od pilota určitou kvalifikaci. A zde přichází ta část, která může být lehce matoucí (doporučuji prostudovat tabulku 1). Pilot může létat podle podkategorie A1 s dronem podkategorie C0, jestliže se obeznámil s příručkou daného dronu a nesmí přelétat nad shromážděním osob. Avšak s dronem podkategorie C1 může létat v kategorii A1 pouze, pokud se obeznámil s příručkou k danému dronu a také vlastní doklad o absolvování online výcviku, přičemž nesmí létat nad žádnou nezapojenou osobou. Kategorie A2 je nejvíce náročná na certifikaci pilota. Lze v ní létat pouze s dronem v kategorii C2 a vyžaduje, aby pilot měl doklad o absolvování online výcviku, pročetl si příručku ke dronu, a navíc také měl osvědčení o způsobilosti dálkově řídícího pilota, pro kterou musí složit zkoušku osobně na úřadu pro civilní letectví. Poslední podkategorie, A3, vyžaduje dron podkategorie C2, C3 nebo C4 a pilot musí mít doklad o absolvování online výcviku. Jak je patrné drony kategorie C2 můžou létat jak v kategorii A2, tak i A3. Záleží tedy jen na certifikaci pilota [48].

provozní omezení	fyzické vlastnosti
A1	C0, C1
A2	C2
A3	C2, C3, C4

Tabulka 1: Relace podkategorií

Kvůli složitým pravidlům, která jsou navíc dosti proměnná nebudu uvádět přesné znění provozních omezení jednotlivých kategorií, ani podmínky pro zařazení do určité kategorie fyzické vlastnosti. Doporučuji tedy vždy hledat aktuální informace na stránkách úřadu pro civilní letectví a zaměřit se na svůj model dronu.

2.5.2 Specifická kategorie

Jestliže dron neodpovídá žádné definici v otevřené kategorii, tak spadá do specifické kategorie. V této kategorii najdeme převážně drony určené ke specifickým profesionálním činnostem. Pro možnost letu musí provozovatel dronu v této kategorii vypracovat posouzení provozních rizik a odeslat ho na úřad pro civilní letectví. Na základě rozhodnutí může poté dron létat. V této kategorii můžeme také najít drony, které mohou létat bez přímého vizuálního dohledu pilota [48].

2.5.3 Certifikovaná kategorie

Certifikovaná kategorie je spíše kategorie pro budoucnost. Bere totiž v potaz drony, které budou schopny převážet lidi či nějaký těžký náklad. Považuje se za nejrizikovější kategorii a kvůli tomu je také potřeba řada certifikací (dle názvu), které jsou potřeba pro uvedení dronu do provozu a následně i provoz samotný. V této kategorii bude možné létat nad shromážděním lidí a třeba i nad dálnicí [50].

3 DJI Software Development Kit

Firma DJI si je vědoma faktu, že lidé jsou velmi vynalézaví, a proto dává smysl dát lidem prostor a také především prostředky, jakými můžou svojí vynalézavostí posunout produkty DJI o něco dál. Díky tomu vznikl projekt DJI Developer, který toto umožňuje. Jsou pod ním vydávány nástroje pro vývoj aplikací pro různé platformy a různé DJI produkty. Vývojáři z celého světa můžou tímto způsobem vyvíjet a vylepšovat řešení, které můžou světu dronů prospět [51].

Konkrétně je možné vyvíjet aplikace na mobilní zařízení s operačním systémem android nebo mobilní zařízení od společnosti Apple s operačním systémem iOS. Pozadu nezůstávají ani osobní počítače či notebooky, neboť možnost vývoje je i na operační systém Windows. V dnešní době je také velmi populární vývoj webových aplikací. I na ten vývojáři z DJI mysleli. Dostupný je takzvaný Cloud API, díky kterému lze být vyvinuta webová aplikace, která následně s tímto API bude komunikovat a ovládat dron. Jelikož novější drony od DJI jsou poměrně modulární, a může k nim být připojeno velké množství přídatných periférií, je zde připraveno řešení pro manipulaci s řečenými perifériemi. To vše je dostupné v jednotlivých software development kitech [51].

3.1 Definice a příklady SDK

O software development kitu se nejčastěji hovoří v jeho zkratce – SDK. Jedná se o balíček nástrojů, poskytnutý vývojářem produktu, který dovoluje s daným produktem interagovat na úrovni programového kódu. Nejčastěji se SDK poskytuje pro hardwarové platformy, ale může být poskytnutý i pro software (třeba pro operační systém) [52].

SDK pomáhá vývojářům vytvářet aplikace pro konkrétní produkty či modelové řady produktů, pro které je SDK vytvořeno. Většinou SDK obsahuje dokumentaci, API, kompilátor, knihovny atd. Účinný SDK by měl poskytnout všechny nezbytné prvky, které vývojáři potřebují při tvorbě nových aplikací

pro konkrétní produkt a jeho související prostředí. Kromě toho mohou některé SDK nabízet vzorový nebo základní testovací projekt, aby se vývojáři mohli co nejdříve pustit do práce [52].

Konkrétní SDK je třeba JDK (Java development kit), který je nutný pro vývoj aplikací v programovacím jazyce Java. Pro vývoj pro operační systém Mac OS se využívá MacOS X SDK. A třeba pro vývoj vlastního Kubernetes operátoru se používá Kubernetes operator SDK [52]. Jak bylo výše zmíněno existují také SDK pro vytváření aplikací pro drony a jejich příslušenství.

3.2 DJI Developer

Jestliže chce někdo využívat SDK od společnosti DJI musí se zaregistrovat do projektu DJI Developer na webových stránkách DJI. Registrace do projektu je zdarma. Při registraci uživatel, kromě emailu a hesla, také vyplňuje krátký formulář, kde uvádí, k čemu jeho aplikace budou sloužit. Zadává se zde zejména obor, ve kterém aplikace budou. Na výběr je například zemědělství, kinematografie, těžba rudy, univerzitní výzkum atd.

Po přihlášení může uživatel spravovat své aplikace, které využívají některé z dostupných SDK. Nejprve tedy musí vyplnit údaje ohledně konkrétní aplikace. Vyplnit se musí které SDK chce využívat, název aplikace, platformu, účel aplikace a název balíčku pod kterým bude následně aplikaci vyvíjet. Po vyplnění a odeslání formuláře se uživateli vygeneruje klíč, pomocí něhož se následně budou DJI produkty autentizovat.

DJI Developer dříve také nabízel předplacené členství, které stálo 99 dolarů. V rámci tohoto členství mohli uživatelé mít přednostní přístup na DJI podpoře a nekonečně mnoho aplikací pod svým účtem [53]. Navíc měli přístup také k žádostem o MFi program, což je program od společnosti Apple, díky kterému můžou vývojáři vydávat aplikace, které využívají jejich rozhraní lightning, na AppStore. Tento přístup nebyl úplně šťastný, neboť jedinou možností, jak dostat aplikaci s DJI SDK na AppStore bylo zaplatit si členství.

V případě vývoje pro Android vývojář nemusel platit nic [54]. Systém předplaceného členství byl již zrušen, ovšem v dokumentaci je stále zmiňován, což vedlo k mému zmatení.

3.3 Mobile SDK

Mobile SDK je SDK pro mobilní zařízení. Díky němu lze jednodušeji vyvíjet mobilní aplikace, které mohou ovládat dron. SDK se dokáže starat o vše potřebné. Umí řídit let dronu, čte data ze senzorů na dronu, hýbe gimbalem a nastavuje kameru, přenáší živý přenos z kamery a čte informace o stavu dronu. V současné době jsou dvě verze tohoto SDK, a sice Mobile SDK V4 a Mobile SDK V5. Bohužel tyto dvě verze nejsou vzájemně kompatibilní, takže drony, které umí využívat V5 neumí využívat V4 a naopak. Přičemž V4 se již aktivně nevyvíjí. Stále se na ní vydávají opravy chyb, ale již nepřibývají nové funkcionality. Veškeré nové drony jsou již dělány pouze pro SDK V5 [55].

3.3.1 V4

Mobile SDK V4 podporuje mobilní zařízení s operačním systémem Android s verzí vyšší než 5.0.0 a mobilní zařízení od společnosti Apple s operačním systémem iOS s verzí vyšší než 9.0. Díky této skutečnosti, že je SDK dostupné jak na Android, tak na iOS, je i veškerá dokumentace rozdělená na dvě separátní části. Jedna část je pro Android, druhá je pro iOS [55].

Verze pro iOS dále dává na výběr ze dvou programovacích jazyků. První z nich je objektové C, což je objektově orientovaný programovací jazyk vyšší úrovně, který v minulosti sloužil jako primární jazyk pro celý ekosystém společnosti Apple. Druhý programovací jazyk se jmenuje Swift, který postupně nahrazuje objektové C ve světě Apple, jakožto modernější a rychlejší alternativa [56].

Vývojáři, vyvíjející pro operační systém Android, mají připravené SDK v programovacím jazyce Java [55].

Mobile SDK V4 funguje pouze s vybranými modely dronů od společnosti DJI. Novější drony již využívají pouze Mobile SDK V5. Drony podporující tuto verzi SDK jsou:

- M300 RTK,
- série Mavic do verze 2,
- série Phantom,
- série Inspire,
- série M200 V2,
- Matrice 600,
- Matrice 600 Pro,
- Matrice 100 [55].

3.3.2 V5

Novější verze Mobile SDK V5 podporuje pouze mobilní zařízení se systémem Android. Pro iOS zatím není tato verze SDK dostupná. Je zde tedy pouze verze pro programovací jazyk Java. Při pohledu do dokumentace této verze, má Mobile SDK V4 jednoznačně více možností. V potaz se ovšem musí brát fakt, že je verze V5 novější a aktivně vyvíjená [57].

Co se týče dronů, které Mobile SDK V5 podporuje, tak je jich taky méně, a to konkrétně tyto:

- Mavic 3M,
- série Mavic 3 Enterprise,
- série M30,
- M300 RTK [57].

3.4 Windows SDK

Windows SDK se zatím nachází v předběžné části vývoje (beta verze). Je napsán v programovacím jazyce C# a nabízí, v porovnání s Mobile SDK, poměrně málo možností. Stejně tak i dokumentace není nikterak rozsáhlá. Těžko říct jakým směrem se vydá toto SDK, vzhledem k tomu, že velmi dlouho nevyšel žádný update, který by Windows SDK posunul dál [58].

3.5 Cloud API

Pomocí Cloud API lze také vyvíjet webové aplikace, které umějí komunikovat s dronem. K tomu, aby dron mohl využívat Cloud API, je potřeba využít podpůrné zařízení. To je třeba DJI Pilot 2, což je aplikace od DJI, pomocí které se uživatel může připojit k webovým aplikacím využívající Cloud API. Druhá varianta je DJI Dock, což je v podstatě přenosná krabice na určité modely dronů DJI, která umí drona nabíjet a dále s ním komunikovat [59].

Díky Cloud API je možné dělat aplikace, které nezatěžují mobilní zařízení, ale veškerá výpočetní zátěž se provádí na serveru, kde běží webová aplikace. Dále díky moderním technikám DevOps je možné aplikaci škálovat a využívat tak spoustu výhod moderního vývoje webových aplikací [59].

Cloud API podporuje několik protokolů pro komunikaci se zařízením, ovládajícím drona. Nejběžnější protokol je HTTPS, který se dnes využívá k drtivě většině komunikace na internetu. Dále může také využívat protokol MQTT. V poslední řadě lze také využít protokol WebSocket [59].

3.6 DJI flight simulator

Společnost DJI také nabízí softwarový nástroj, který dokáže simulovat let dronu. Jmenuje se DJI flight Simulator a jedná se o software dostupný pro operační systém Windows, který si každý může stáhnout z oficiálních stránek DJI. Po spuštění programu je ovšem nutné se přihlásit pomocí svého DJI Developer účtu. Licence na tento program je rozdělená do tří verzí. První z nich

je zcela zdarma, jediná podmínka je mít DJI Developer účet. K dalším dvěma verzím je třeba v programu zadat aktivační klíč. Ten se dá zakoupit u obchodníků, kteří mají smlouvu s DJI a poskytují DJI vybavení ze série Enterprise. V České republice jsou takovými obchodníky například STABLECAM s.r.o., TELINK, spol. s.r.o. nebo 3GON Positioning s.r.o. [60].

Program se ovládá pomocí dálkového ovladače DJI, který běžně komunikuje s dronem. Jenom v tomto případě není bezdrátový, ale je potřeba jej připojit pomocí USB kabelu k počítači. Ovladač následně slouží jako periferie, pomocí níž se dá ovládat menu v programu a následně také dron v simulaci.

K dispozici je celkem osm modelů dronů společnosti DJI, se kterými se dá létat. V základní verzi se jedná o: Spark, Mavic Air, Mavic Pro, Mavic 2 Pro, Mavic 2 Zoom, Phantom 4 Pro a Inspire 1 Pro. Placené verze navíc obsahují také: Mavic 2 Enterprise, Inspire 2, M210 RTK.

Program nabízí takzvaný volný let, ve kterém je možné, se zvoleným modelem dronu, volně létat. Je zde na výběr několik 3D renderovaných prostředí, ve kterých se dron může pohybovat. Součástí těchto prostředí jsou také překážky, jako například domy či stromy, do kterých je možné nabourat. V této simulaci je také možné přepínat si různé pohledy. Je zde třeba možnost být z pohledu pilota, kdy na monitoru sledujeme dron fixní kamerou, která se pouze otáčí za dronem, tak jako by to bylo v reálném prostředí. Dále je možné přepnout se do pohledu třetí osoby za dronem, kdy sledujeme dron zezadu po celou dobu letu. Velmi zajímavý je také pohled z první osoby, koukající se na model ovladače s mobilním zařízením. V tomto pohledu na monitoru vidíme model ovladače s tabletem, který je k němu připojen a na displeji tabletu vidíme živý přenos z našeho fiktivního dronu (viz obrázek 5).

Placené verze navíc také obsahují trénink ovládání dronu. Jedná se o sérii předem připravených scénářů, které uživatele provedou základním ovládáním dronu. Dále také obsahují trénink pro konkrétní využití dronů, jako například inspekce drátů vysokého napětí [60].

Celkově je tento program velmi zajímavý a dá se využít jakožto nástroj pro



Obrázek 4: Screenshot z DJI Flight simulator

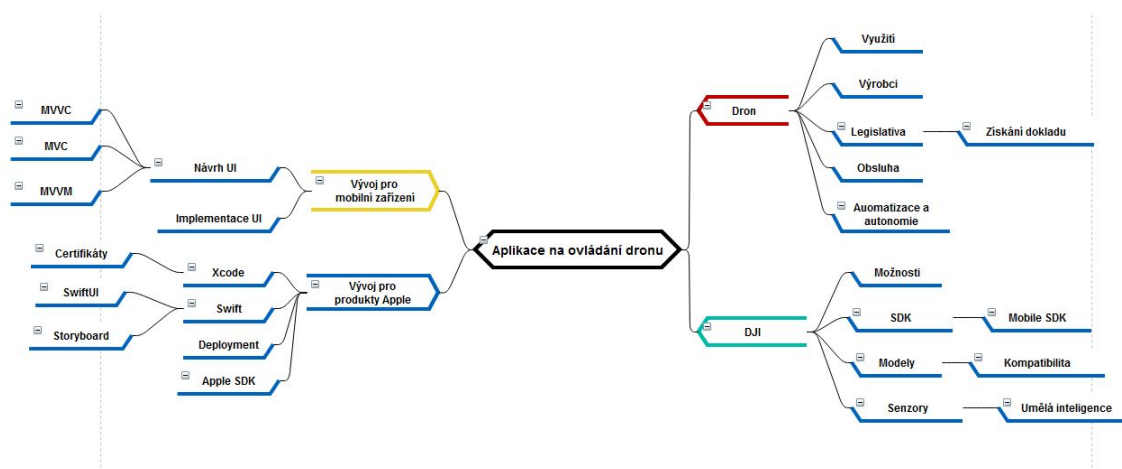
nácvik létání s dronem pro začátečníky. Má ovšem jednu nevýhodu. Při létání v simulátoru nejde připojit vlastní mobilní zařízení a využívat tedy aplikace na vlastním mobilním zařízení.

4 Vývoj aplikace

V praktické části ukazuji postup při tvorbě mé aplikace, která je jedním z cílů této práce. Je zde popsán postup, kterým jsem aplikaci vyvíjel od analýzy až po implementaci. Jsou zde popsány některé rozhodnutí, které jsem v průběhu vývoje udělal. Dále jsou zde také uvedeny problémy, které nastali. Také zde popisuji můj postup při seznámením se s dronem a úskalí spjaté s vývojem okolo něj.

4.1 Analýza

Jako první věc, kterou jsem udělal je, že jsem si na kus papíru začal bodově psát co a jak má vlastně ta aplikace dělat. IOS, DJI, letový plán. Každý bod znamenal mnoho otázek. Následně jsem usoudil, že bude lepší zpracovat myšlenkovou mapu. Ta nakonec vypadá takto:



Obrázek 5: Myšlenková mapa

K účelům testování jsem od fakulty dostal možnost vypůjčit si školní dron. Druhý úkol tedy zněl jasně; analyzovat tento konkrétní dron. Jedná se o původní model kvadrokoptéry DJI Phantom 4, který byl vydán v březnu roku 2016. Dnes tento model již není na oficiálním obchodu DJI nabízen, místo toho ho nahradil DJI Phantom 4 Pro V2.0.

Následně jsem začal koukat jaká je kompatibilita DJI SDK s tímto modelem dronu. Zde asi nikoho nepřekvapí, že DJI SDK je kompatibilní pouze s drony od společnosti DJI. Tudíž aplikace bude určena pouze pro ně. Já jsem vyvíjel aplikaci pro mobilní zařízení, tudíž mě zajímá Mobile SDK. A to konkrétně mobile SDK V4, neboť pouze to je kompatibilní s dronem Phantom 4. Mobile SDK V4 je kompatibilní s operačním systémem iOS vyšším než 9.0, tudíž některé staré telefony či tablety nemusí být kompatibilní. Tím pádem nemusím řešit vývoj pro staré zařízení.

Aplikace musí umět příkazy jako například vzlétnout, přistát, otočit se o určitý úhel, letět určitý počet metrů, pohnout gimbalem o určitý úhel, zapnout nahrávání, vypnout nahrávání.

Začal jsem také uvažovat o tom kdo vůbec bude takovou aplikaci využívat. Cílová skupina by měli být lidé či instituce, kteří již DJI dron vlastní. Vzhledem k ceně dronů si rozhodně nikdo nekoupí takovýto dron jenom kvůli mé aplikaci. Další problém představuje alternativa ve formě dronů RYZE Tello, které jsou určeny pro děti na školách. Zde tedy není důvod, aby si školy pořizovali drony kompatibilní s DJI SDK V4, když existuje RYZE Tello přímo dělaný na tento případ použití. Bylo by tedy vhodné mít alespoň pěkné a jednoduché grafické rozhraní, ve kterém se uživatel jednoduše zorientuje.

4.1.1 MVVM

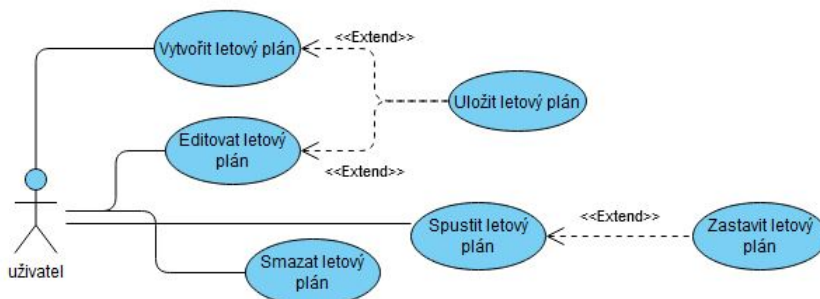
MVVM (Model-View-ViewModel) je architektonický model, podle kterého se dají vyvíjet aplikace, které mají uživatelské prostředí. Tento model byl původně vynalezen společností Microsoft. Jeho hlavní myšlenka je rozdělit strukturu kódu do tří částí, při čemž každá část zodpovídá za něco jiného. Tyto části jsou již uvedeny v názvu a sice jsou to: Model, View a ViewModel. Část Model je zodpovědná za reprezentaci doménového modelu aplikace. Jsou v ní tedy třídy, které obsahují data. Další část je ViewModel, což je takový most mezi Modelem a View. Hlavním úkolem ViewModelu je informovat View o případných změnách. Může zde také být nějaká základní logika, která se má dynamicky

zobrazovat uživateli. Poslední část je View, která slouží čistě k vykreslování komponent na obrazovku zařízení. Striktně neobsahuje žádné data, ani logiku. Často se říká, že třídy, které jsou ve View vrstvě jsou pouze „hloupé“ třídy [62].

Pro vývoj mé aplikace jsem se tedy rozhodl, že použiji tento architektonický model. Všechn kód tak je pěkně strukturovaný a přehledný.

4.2 Design

Na základě analýzy požadavků na vytvářenou aplikaci jsem začal připravovat její návrh. Udělal jsem tedy několik základních UML diagramů, které měli za účel držet mě ve správném směru. K tomu jsem využil zdarma dostupný nástroj Visual Paradigm Online [61]. Stačilo tedy si zvolit ten, který jsem zrovna potřeboval a již jsem měl předpřipravené komponenty (UML značky), které jsem mohl volně pokládat do grafického prostoru.

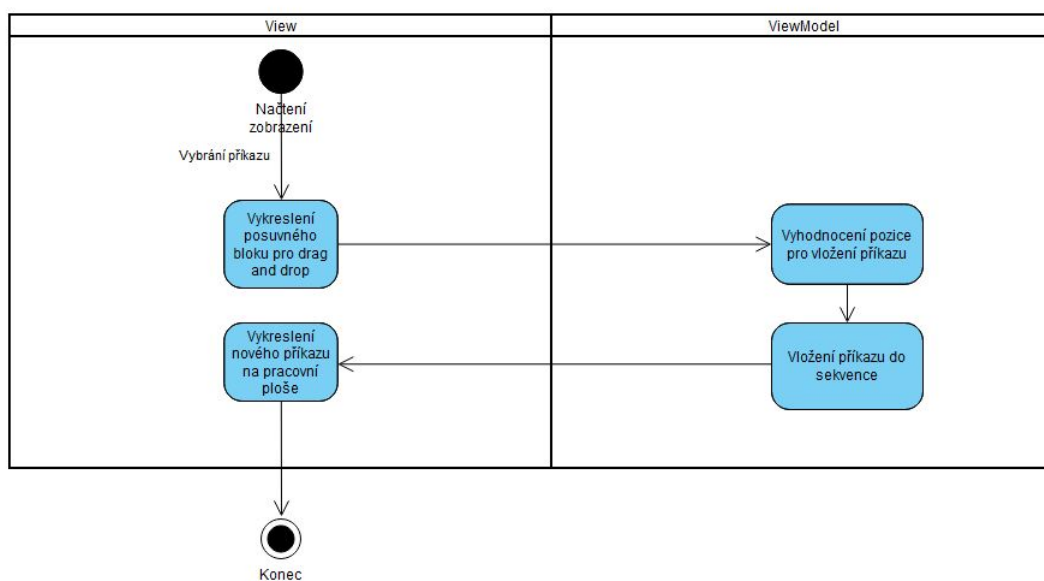


Obrázek 6: Use case aplikace

Jako první jsem udělal use case diagram (diagram případů užití), který znázorňuje uživatele a jeho možnost interakce s aplikací (viz obrázek 6). Uživatel má možnost vytvářet nové letové plány, které má následně také možnost ukládat do svého mobilního zařízení. Letové plány mohou také být upravovány a následně opět uloženy. Je také možnost vytvořit letový plán či upravit letový plán, ale neuložit jej. To pro případ, že si uživatel svoje činy rozmyslí a přeje si navrátit se do původního stavu. Uživatel má dále možnost letové plány spouštět a v případě problému jej také může zrušit. Také je zde možnost

letové plány zcela a nenávratně smazat.

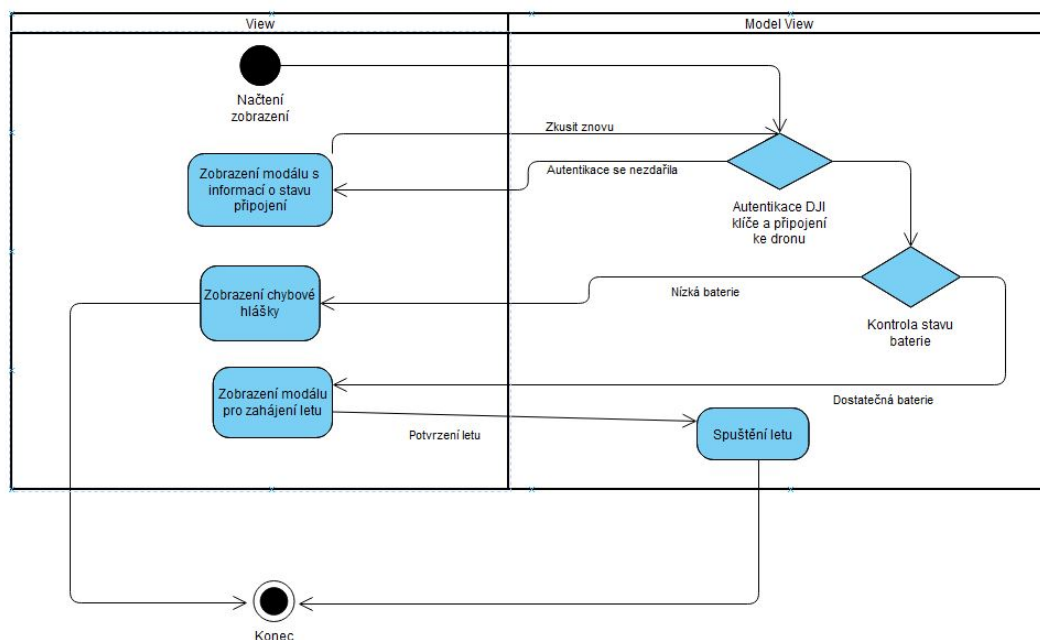
Další interakce jsou znázorněny pomocí diagramů aktivit. První diagram aktivit je diagram, který znázorňuje možnost vytváření letových plánů (viz obrázek 7). Aktivita začíná načtením obrazovky na vytváření letového plánu. Uživatel zde má na výběr příkazy v podobě bloků. Zvolený blok může pomocí techniky drag and drop přetáhnout do středu obrazovky, kde se nachází příkazy, které jsou již vloženy do letového plánu. Jakmile uživatel položí prst na jeden z příkazů, vytvoří se kopie jeho zobrazení, která se neustále vykresluje a následuje uživatelský pohyb prstu. Ve chvíli, kdy uživatel prst zdvihne, se vyhodnotí pozice, ve které prst zdvihl a příkaz se zařadí na příslušnou pozici v letovém plánu. Následně se znovu načte zobrazení, ve kterém se promítne změna v podobě nového příkazu v letovém plánu. Tato aktivita se opakuje do doby, než uživatel uloží letový plán nebo se vrátí zpět bez uložení. V obou případech se dostane na výčet uložených letových plánů.



Obrázek 7: Diagram aktivit - vytváření plánu

Druhý diagram aktivit zobrazuje předletové kontroly (viz obrázek 8). Aplikace musí nejdříve ověřit zda může s dronem komunikovat. Předpokladem je, že aplikace obsahuje klíč vygenerovaný na stránkách DJI Developer, který se váže

na jméno balíčku (package name) aplikace. Zároveň také musí mít dron spojení s ovladačem, ke kterému je připojeno mobilní zařízení s aplikací. Jestliže spojení není navázáno, aplikace zobrazí modální okno s hláškou, že čeká na spojení a vyzkouší, zda připojení již bylo navázáno. V případě, že spojení existuje a aplikace má klíč, přichází další kontrola. Tentokrát kontrola baterie. V případě, že dron má méně než 25 % baterie, tak mu aplikace nedovolí odstartovat letový plán. Na druhou stranu, pokud je má baterie více jak 25 %, pak je letový plán připravený na spuštění a uživatel je vyzván pro potvrzení spuštění plánu. Po potvrzení se letový plán spustí.



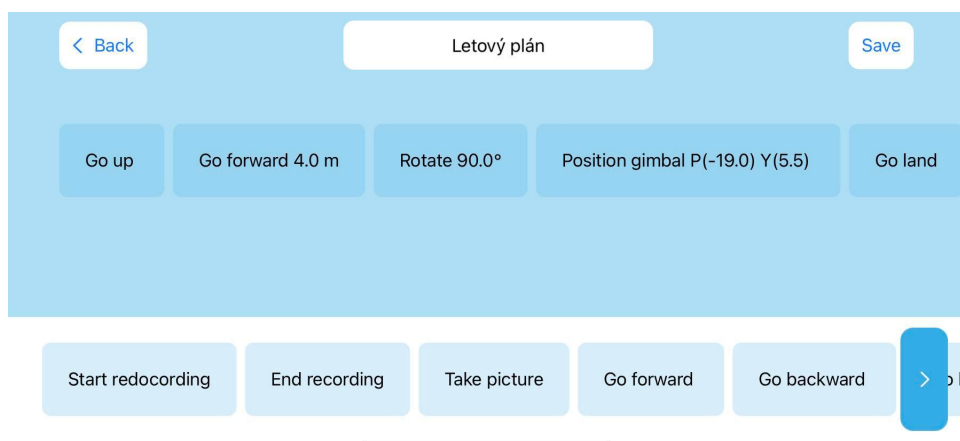
Obrázek 8: Diagram aktivit - předletová kontrola

4.2.1 Návrh UI

Má původní představa o uživatelském rozhraní aplikace byla inspirována programovacím prostředím jazyka Scratch. Aplikace by byla orientována vertikálně a uživatel by měl na levé straně obrazovky sloupeček, ve kterém by pod sebou byli jednotlivé příkazy, které může dronu dát. Problém ovšem je nedostatek místa na obrazovce. Sloupeček s příkazy a pracovní plocha, kam se příkazy

vkládají se vedle sebe nevejdou. Řešení by tedy bylo dát sloupeček s příkazy do takzvaného hamburger menu. Sloupeček by v takovém případě byl skrytý a vidět by byla pouze pracovní plocha. Sloupeček s příkazy by se objevil až po stisku tlačítka. Toto řešení také není optimální, neboť při zobrazení sloupečku s příkazy by se překryla pracovní plocha a uživatel by tedy neviděl co na ni momentálně má. Což by bylo značně nepřehledné a uživatelsky ne příliš přívětivé.

Inspiraci jsem tedy nabral jinde. Opustil jsem myšlenku vertikální orientace a začal přemýšlet nad horizontální orientací. Řekl jsem si, že bych vzhled aplikace mohl udělat podobným stylem, jakým jsou dělány stříhové programy na úpravu videozáznamu. Ty mají timeline (časovou osu) na které se nachází videozáznam. Stejně tak jsem tedy udělal i možnost vkládání bloků s příkazy pro dron.



Obrázek 9: Uživatelské rozhraní aplikace

4.2.2 Řešení kolizí

Je třeba myslet na případné kolize dronu s objektem. Pro minimalizování potenciální nehody využívám umělé inteligence dronu. Konkrétně počítačového vidění (computer vision), kterým je dron vybaven. Uvnitř dronu je usazený procesor, který vyhodnocuje algoritmy počítačového vidění. O tom jak počí-

tačové vidění funguje již pojednává kapitola 2.3. V tomto případě dron dokáže před sebou rozpoznat překážku a začne před ní zpomalovat, dokud nezastaví úplně. Pomocí Mobile SDK V4 má vývojář možnost tuto automatickou detekci vypnout, či zapnout. Já jsem tedy tuto detekci zapnul.

4.2.3 Řešení letu mimo dosah pilota

Podobně jako u kolizí i zde mají DJI drony automatický systém pro řešení tohoto problému. Při letu mimo dosah pilota přejde dron do režimu návrat domů (return to home). Dron se v tomto modu bude snažit navrátit se na souřadnice ze kterých vzletěl a také se pokusí přistát. Vývojář tedy nemusí tuto problematiku řešit ručně.

4.3 Příprava prostředí

Než se člověk může vrhnout do vývoje, musí si nejdříve přichystat prostředí ve kterém bude aplikaci dělat. Vzhledem k tomu, že aplikace byla vyvíjena na mobilní zařízení s operačním systémem iOS, není zde moc prostoru pro volby. Pro vývoj na zařízení firmy Apple je připravené oficiální IDE, které má v sobě spoustu funkcionalit, které vývojář může ocenit při vývoji právě na tyto platformy. Toto IDE se jmenuje Xcode a je dostupné (oficiálně) pouze na operační systém MacOS. Já vlastním MacBook, tudíž jsem na něm zavítal do obchodu s aplikacemi AppStore a stáhl si řečené IDE.

Jako další věc je potřeba nainstalovat si dependency manager CocoaPods. Vzhledem k tomu, že vývoj na dron může využívat více dependencí je vývoj s použitím manažeru jednodušší a přehlednější. Zároveň veškeré starosti o aktualizace dependencí si na sebe vezme dependency manager, takže se nemusím o dependence skoro vůbec starat. Instalace je jednoduchá, díky tomu že MacOS je UNIX-like systém, můžu instalovat věci podobně jako u Linuxu. Použil jsem tedy následující příkaz v terminálu:

```
sudo gem install cocoapods
```

Následně jsem založil v Xcode nový projekt, zadal mu jméno, název balíčku a vybral jazyk ve kterém chci psát. Po založení projektu jsem do kořenového adresáře musel založit nový soubor s názvem Podfile. Tento soubor slouží k vyjmenování dependencí, ve speciální syntaxi, které chceme v projektu používat. Můj Podfile lze vidět na obrázku 10. Jak je vidět používám pouze jednu depen-

```
platform :ios, '16.0'
source 'https://github.com/CocoaPods/Specs.git'

target 'flightplan' do
  pod 'DJI-SDK-iOS', '~> 4.16'
end
```

Obrázek 10: Obsah souboru Podfile

dency, přičemž chci nejnovější verzi, která je větší než 4.16. V době zpracování práce je to 4.16.2.

4.4 Absolvování online výcviku

Aby bylo možné mojí aplikaci zkoušet a testovat, musím pochopitelně mít možnost s dronem létat. Současné znění legislativy, která se týká létání s drony jsou již popsány v kapitole 2.5.1. Konkrétně Phantom 4, který mi byl zapůjčen od fakulty spadá do kategorie fyzických vlastností C2. Tato kategorie může létat ve dvou provozních omezení - A2 a A3. Je tedy potřeba projít si online samostudiem a následně složit online test, po jehož úspěšném splnění člověk dostane doklad o absolvování online výcviku.

Na stránkách Úřadu pro civilní letectví jsem si tedy na stránce o bezpilotních letadlech v sekci online a informace k využití, prošel materiály, které jsou zde připraveny. Následně jsem se v sekci profil přihlásil. K přihlášení je potřeba identita občana. Já jsem si zvolil přihlášení pomocí bankovní identity. Následně jsem splnil online test a obdržel doklad o absolvování online výcviku.

Díky tomu tedy můžu s dronem Phantom 4 létat podle provozních omezení A3. Jestliže bych chtěl létat v kategorii A2 musel bych splnit další požadavky

a test, který je psaný prezenčně na úřadu civilního letectví. Mně stačí A3.

4.5 Vývoj

4.5.1 Registrace aplikace

Jako první věc, kterou je třeba zprovoznit je kontrola tzv. aplikačního klíče (app key), který je potřeba vygenerovat pod svým profilem na stránkách DJI Developer. Tento klíč jsem vložil do souboru info.plist, který se nachází v mém Xcode projektu. A to konkrétně pod název DJISDKAppKey. V tomtéž souboru je také potřeba vyspecifikovat externí protokoly pod názvem Supported external accessory protocols. Tam jsem vypsál následující protokoly: com.dji.video, com.dji.protocol a com.dji.common.

Následně jsem musel napsat kód, který aplikaci zaregistruje pomocí zmínovaného klíče. Vytvořil jsem si tedy novou třídu s názvem ProductCommunicationManager, ve které mám veškerou logiku týkající se registrování aplikace. Nejdůležitější je zde použití metody registerApp(), kterou obsahuje SDK, které používám. To mi zajistí, že dron bude reagovat na aplikací posílané vstupy.

```
func registerWithSDK() {
    let appKey = Bundle.main.object(forKey: SDK_APP_KEY_INFO_PLIST_KEY) as? String

    guard appKey != nil && appKey!.isEmpty == false else {
        NSLog("Please enter your app key in the info.plist")
        return
    }

    Task {
        DJISDKManager.registerApp(with: self)
        NSLog("Registered SDK")
    }
}
```

Obrázek 11: Ukázka kódu - registrace aplikace

4.5.2 Logika letového plánu

DJI Mobile SDK V4 obsahuje třídy a metody, které dokáží letový plán reprezentovat. Nejdůležitější je zde rozhraní `DJIMissionControl`, které zodpovídá za spouštění letových plánů. DJI místo termínu letový plán používá termín *mise*. Toto rozhraní obsahuje elementy typu `DJIMissionAction`, což už jsou konkrétní příkazy, co má dron udělat. Dále také obsahuje spouště (triggers) typu `DJIMissionTrigger`, pomocí níž se dá spouštět kód na základě dosažení určitých podmínek, definovaných daným triggerem.

Je ale třeba nějakým způsobem převést vstup od uživatele mé aplikace do podoby, kterou přijímá SDK, konkrétně převést příkazy na `DJIMissionAction`. V modelové vrstvě mého kódu jsem tedy vytvořil třídu `Action`, která mi tuto konverzi zajistí. Tato třída má dvě vlastnosti: `id` (UUID) a `type` (`ActionType`). `ActionType` je mnou vytvořený enum, který se také nachází v modelové vrstvě. V něm mám definované veškeré příkazy, které aplikace nabízí a také parametry, které mohou mít.

```
enum ActionType: Equatable, Hashable, Codable, CaseIterable {

    case startRecording,
    endRecording,
    takePicture,
    goForward(meters: Double),
    goBackward(meters: Double),
    goLeft(meters: Double),
    goRight(meters: Double),
    goUp(meters: Double),
    goDown(meters: Double),
    positionGimbal(pitch: Double, roll: Double, yaw: Double),
    rotate(degrees: Double),
    land
}
```

Obrázek 12: Enum `ActionType`

Samotná konverze je poté realizována právě na základě `ActionType` ve třídě `Action` pomocí mé metody `takeAction()` (viz obrázek 13). Tato metoda vrací objekt `DJIMissionControlTimelineElement`, což je abstraktní třída, kterou dědí `DJIMissionAction` a tím pádem i jednotlivé příkazy, které přijímá

DJIMissionControl. Na obrázku níže je vidět, že k převedení příkazů používám switch, po jehož vyhodnocení se mi vrátí požadovaný objekt DJIMissionAction. Zároveň moje metoda bere parametry, které slouží pro předání parametrů příkazům, které jej potřebují.

Jak je také vidět dále příkaz pro pohyb do směru dále používá metodu calculateCoordination(). Paradoxně SDK neobsahuje žádnou metodu, která by dronu umožnila let dopředu (ani do jiné strany) o určitou délku. Obsahuje pouze třídu DJIGoToAction, která má konstruktor se souřadnicemi. To znamená, že abych dronu přikázal let dopředu o pět metrů, musím vypočítat pomocí jeho pozice a směru, souřadnice, které se nacházejí o pět metrů dál. Tedy testování a implementace pohybu dopředu byl daleko větší problém, než se na první pohled může zdát.

Velká nevýhoda také je, že SDK nedovoluje, aby se vykonávali dva a více příkazů najednou. Není tedy možné udělat příkaz, aby dron letěl dopředu a zároveň hýbal gimbalem.

4.5.3 Implementace MVVM

V předchozí podkapitole jsem již zmínil, že používám vrstvu Model. Nyní je také potřeba implementovat další dvě vrstvy MVVM modelu. A sice View a ViewModel. Rozhodl jsem se, že tyto dvě vrstvy budou sdílet složky v závislosti na konkrétní funkcionalitě, kterou obsluhují. Tudíž jsem vytvořil složku FlightPlanner, která bude obsluhovat vytváření a editování letových plánů. V této složce mám dvě třídy FlightPlannerScreen, což je View vrstva a FlightPlannerViewModel, což je ViewModel vrstva. Stejně tak jsem udělal složku pro FlightPlan, která bude obsluhovat spouštění letových plánů a MainList pro výčet uložených plánů. Co se týče vrstvy Model, ta je ve své stejnojmenné složce.

```

func takeAction(coordinates: inout CLLocationCoordinate2D,
               altitude: inout Double,
               heading: Double) -> DJIMissionControlTimelineElement?
{
    switch type {
    case .startRecording:
        return DJIRecordVideoAction(startRecordVideo: ())
    case .endRecording:
        return DJIRecordVideoAction(stopRecordVideo: ())
    case .takePicture:
        return DJIShootPhotoAction(singleShootPhoto: ())
    case .goForward, .goBackward, .goRight, .goLeft:
        coordinates = calculateCoordination(direction: type,
                                           location: coordinates,
                                           heading: heading)
        return DJIGoToAction(coordinate: coordinates)
    case .goUp(let meters):
        return DJIGoToAction(altitude: altitude + meters)
    case .goDown(let meters):
        return DJIGoToAction(altitude: altitude - meters)
    case .positionGimbal(let pitch, let roll, let yaw):
        return DJIGimbalAttitudeAction(attitude:
            DJIGimbalAttitude(pitch: Float(pitch),
                               roll: Float(roll),
                               yaw: Float(yaw)),
            gimbalMode: .free)
    case .rotate(let degrees):
        return DJIAircraftYawAction(angle: degrees,
                                     andIsAbsolute: false)
    case .land:
        return DJILandAction()
    }
}

```

Obrázek 13: Převod příkazu

4.5.4 Implementace UI

Implementace uživatelského rozhraní byla pro mě pravděpodobně ta nejnáročnější část. Vzhledem k tomu, že jsem doposud žádné UI nedělal a zároveň jsem se stále seznamoval s programovacím jazykem Swift, jsem nad touto problematikou strávil spoustu hodin.

Veškerý kód, který se týče vykreslování uživatelského rozhraní je ve View vrstvě. UI je implementováno pomocí frameworku SwiftUI, který je díky předdefinovaným komponentám dynamický a tudíž je zajištěno správné zobrazení i na různých velikostech displeje. Naštěstí je SwiftUI poměrně intuitivní a má pěknou dokumentaci, tudíž veškeré problémy, kterým jsem čelil, vyplývaly z mé

```

var flightPlan: some View {
    ScrollView(.horizontal) {
        LazyHStack {
            ForEach(viewModel.flightPlan.actions, id: \.self) { action in
                ActionView(action: action,
                    isSelected: action == selectedAction) { actionToInsert,
                        before in
                            viewModel.insertAction(actionToInsert,
                                beforeOrAfter: action,
                                before: before)
                        }
                .overlay(alignment: .topTrailing) {
                    deleteActionButton(action: action) }
                .onTapGesture { selectAction(action) }
            }
        }
        Spacer()
    }
    .background(Color.cyan.opacity(0.4).ignoresSafeArea())
    .dropDestination(for: Action.self) { items, location in
        if let action = items.first {
            viewModel.appendAction(action)
            return true
        }
        return false
    }
}

```

Obrázek 14: Kód pro vykreslení pracovní plochy

neznalosti problematiky uživatelských rozhraní.

Při vytváření nového letového plánu uživatel přidává příkazy do sekvence pomocí metody drag and drop. Ta je implementována pomocí SwiftUI a jejího rozhraní Transferable. Toto rozhraní obsahuje, mimo jiné, dva modifikátory: `dropDestination()` a `draggable()`. Já jsem tedy musel definovat každý objekt, se kterým může být pomocí metody drag and drop interagováno. Těmto všem objektům jsem následně dal modifikátor `draggable()`. Následně jsem definoval oblast, kam se můžou dané objekty vkládat. To je v podstatě celá pracovní plocha uprostřed obrazovky, takže celému view jsem dal modifikátor `dropDestination()`. Dále jsem musel definovat logiku co se má po upuštění stát. Po upuštění se do pole s objekty `Action` přidá další objekt, který koresponduje s aktuálně upuštěným typem. Tato logika už je ovšem ve ViewModel vrstvě.

Další efektivní způsob jak využít dotykovou obrazovku mobilního zařízení je mazání a editace letových plánů. Na obrazovce s výpisem všech letových

plánů je možnost jednotlivé plány mazat nebo editovat. Aby se však uživateli zobrazila možnost editace či mazání musí nejdříve přejet prstem zprava doleva. Pro tuto funkcionalitu využívám opět modifikátor od SwiftUI, tentokrát se jmenuje `swipeAction()`. Díky němu stačí definovat co se má po provedení gesta stát a veškeré plynulé vykreslení se udělá automaticky.

Také vybírání parametrů, které potřebují některé letové příkazy je děláno pomocí dotykových gest. Pro zadání hodnot jsem vytvořil okénko, ve kterém si může uživatel tažným gestem vybrat hodnotu. Jestliže tedy chce, aby příkaz leť dopředu měl parametr s hodnotou 10, stačí posuvníkem pohnout, dokud se nezobrazí dané číslo. Po vybrání hodnoty, se daná hodnota uloží do `ActionType` daného příkazu.

Aplikace také zobrazuje aktuální rychlost pohybu dronu, procento nabití baterie dronu a také aktuální výšku od bodu vzletu. To je umožněno díky posluchačům (`listeners`), které jsou poskytnuty v SDK. Tyto posluchače v reálném čase poskytují informace, které potřebuji a já je následně vykresluji na obrazovku zařízení.

4.5.5 Ukládání letových plánů

Pro ukládání letových plánů na úložiště mobilního zařízení využívám systémový soubor `UserDefaults`. Tento soubor slouží pro ukládání objektů. V model vrstvě jsem tedy vytvořil třídu `FlightPlanProvider`, která se stará o ukládání, načítání a mazání letových plánů (viz obrázek 15).

4.5.6 Vytvoření ikony pro aplikaci

Každá aplikace musí mít nějakou svojí ikonku, která musí dostatečně zaujmout potencionální uživatele, kteří brouzdají po obchodě AppStore. Také musí svým způsobem zobrazovat podstatu aplikace. Uživatel tak musí hned vědět, že toto je ta aplikace, kterou hledá.

Ačkoliv umím pracovat s různými grafickými nástroji, nejsem bohužel tak

```
class FlightPlanProvider {
    private let encoder = JSONEncoder()
    private let decoder = JSONDecoder()
    private let defaults = UserDefaults.standard

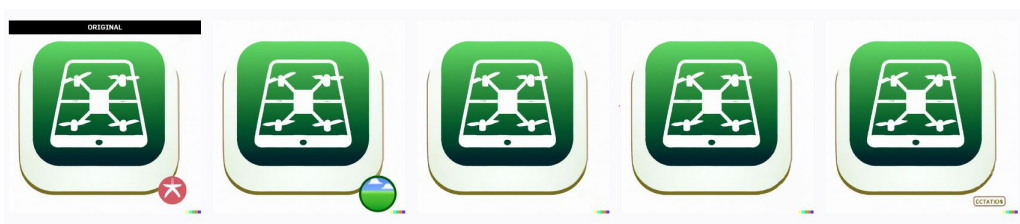
    func savePlan(_ plan: FlightPlan) {
        if let encodedPlan = try? encoder.encode(plan) {
            defaults.set(encodedPlan, forKey: "plan-\(plan.title)")
        }
    }

    func deletePlan(_ plan: FlightPlan) {
        defaults.removeObject(forKey: "plan-\(plan.title)")
    }

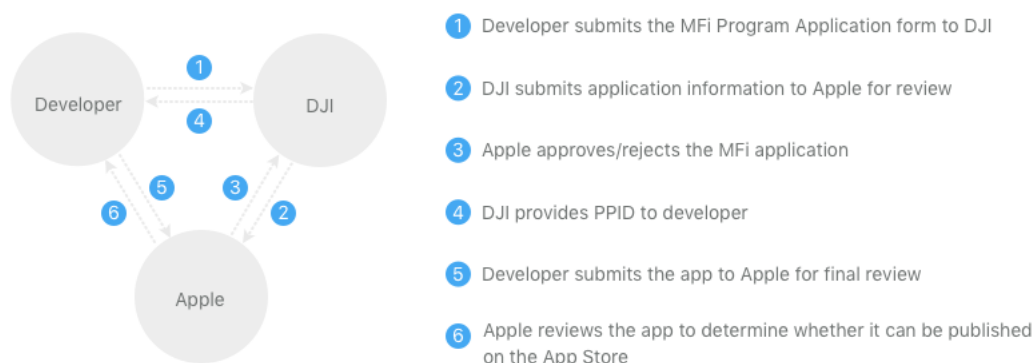
    func getPlan(title: String) -> FlightPlan? {
        if let data = defaults.data(forKey: "plan-\(title)") {
            return try? decoder.decode(FlightPlan.self, from: data)
        } else {
            return nil
        }
    }
}
```

Obrázek 15: Třída pro ukládání plánů

graficky kreativní, abych dokázal vytvořit pěknou ikonku, která by reprezentovala mou aplikaci. Řešení je tedy několik. Nechat si ikonku udělat od někoho, kdo má větší zkušenosti s grafickým designem, zkusit se silně inspirovat od již existujících ikonek nebo tyto řešení zkombinovat a zároveň vyzkoušet nejnovější technologie. Řeč je konkrétně o tom, nechat si ikonku vygenerovat pomocí umělé inteligence. Využil jsem tedy generátor obrázků nesoucí název DALL·E z výzkumných laboratoří Open AI. Ti mimo jiné také vytvořili v současné době hodně zmiňovaný ChatGPT. DALL·E umí generovat obrázky podle zadaného textového řetězce. Jestliže tedy chci vygenerovat malovaný obrázek krajinky stačí zadat něco ve smyslu: "nature painting" a DALL·E mi vygeneruje pět obrázků. Bohužel při použití češtiny nebyl výsledek moc dobrý, dokonce i já bych to udělal lépe. Ovšem, když jsem na umělou inteligenci "promluvil" anglicky, výsledek byl mnohonásobně lepší (viz obrázek 16).



Obrázek 16: Vygenerované ikony



Obrázek 17: Schéma pro nahrání na AppStore [54]

4.5.7 Nasazení na AppStore

Aby se aplikace mohla dostat k ostatním lidem musí být někde publikována. Aplikaci jsem tedy musel nasadit na obchod AppStore, což je obchod s aplikacemi pro operační systém iOS. Tento proces není jednoduchý a kvůli striktním požadavkům od společnosti Apple poněkud přehnaně komplikovaný.

K tomu, aby člověk mohl dát svou aplikaci na AppStore musí mít předplacený prémiový vývojářský účet, pomocí něhož aplikaci na AppStore nahraje. Nahrání není jen tak, neboť musí toto nahrání být nejprve ručně schváleno od společnosti Apple. Ta nejdřív aplikaci otestuje a jestli se jí něco nelíbí, tak aplikaci zamítne a vývojář musí vyhovět jejím připomínkám.

U mé aplikace je to ale ještě složitější. Neboť aplikace komunikuje s ovladačem dronu pomocí konektoru lightning. V tom případě jsem musel zažádat

DJI o vystavení MFI certifikátu. DJI následně požadavek poslalo Applu, ten odpověděl DJI a DJI následně odpovědělo mně. Až teprve s tímto certifikátem je možné žádat, aby dali aplikaci na AppStore (viz obrázek 17). V době odevzdávání textu práce čekám na schválení žádosti o MFI.

5 Testování

Testování probíhalo v mezích zákona a aktuálně platných zákonů o létání s dronem. Veškeré testování tedy probíhalo na loukách a polích. Zároveň také testování probíhalo ve dne, když bylo venku vidět. Uživatelé, kteří tedy aplikaci budou používat v rozporu se zákony, silně zvyšují riziko nehody. Dron, který jsem měl zapůjčen, není vodě odolný, tudíž aplikace nebyla testována, ani v dešti.

Aplikaci jsem testoval v průběhu vývoje, aby jsem viděl, jak věci fungují a jestli vůbec. Bohužel toto testování bylo velmi časově náročné vzhledem k tomu, že jsem vždy musel dron vzít, odjet na kraj města a nové funkcionality vyzkoušet. Obzvláště frustrující byly chvíle, kdy se v aplikaci objevila nějaká chyba (neboli bug) a nastalo opravování metodou pokus-omyl.

Blíže jsem se zaměřil na testování příkazu letu dopředu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.5.2, tento příkaz byl relativně složitější na implementaci. Na louce jsem si tedy odkrokoval počet metrů a udělal značku na zemi. Následně jsem stejný počet metrů zadal dronu a sledoval jak blízko ke značce se zastaví. A zastavil se vždy velmi dobře. Ve výsledku je tam vždy malá odchylka, která zejména závisí na intenzitě větru.

U větru ještě chvílku zůstaneme. Když jsem testoval funkčnost aplikace v intenzivnějších povětrnostních podmínkách, stalo se, že dron se zasekl při dokončování příkazů. Konkrétně při dokončování vzletu ze země. Dron vzlétl, ale ve vzduchu bojoval s větrem a nebyl schopen dokončit příkaz, natož letový plán. Neustále se vznášel na místě a snažil se vyrovnat. V tuto chvíli naštěstí neustále funguje tlačítko návrat domů (RTH) a dron po jeho stisknutí a držení přistál. Aplikaci tedy nedoporučuji za takovýchto podmínek používat.

Podobná věc, se také může stát u příkazu přistání. Dron je na spodku vybaven senzory. Pomocí nich si při přistání "prohlédne" zem a rozhodne, zda je bezpečné přistát. Jestliže ne, tak se zůstane vznášet blízko nad zemí a považuje přistání za dokončené. Díky tomu se minimalizuje riziko, že omylem v rámci letového plánu přistaneme na špatném terénu, což by mohlo vést i k havárii.

V tuto chvíli musí převzít kontrolu pilot. Když jsem testoval přistávání i při lehčím větru, občas se stalo, že dron vyhodnotil přistání za nebezpečné i na bezpečném povrchu. Je tedy možné, že dron v některých situacích nepřistane úplně, ale čeká na pilota, až přistane ručně.

Díky tomu, že se příkazy zpracovávají na desce dronu, je také zajištěno, že při vypnutí aplikace během provádění letového plánu se letový plán může dokončit. Problém nastává, když uživatel aplikaci znovu spustí. Aplikace totiž neví, že dron již nějaký plán provádí.

6 Závěr

Na základě testování aplikace jsem usoudil, že největší využití nalezne má aplikace v oblasti kinematografie. Konkrétně v případech, kdy je žádoucí, aby dron dělal stále stejné záběry napříč několika natáčecími pokusy. Jelikož všechny drony, které jsou kompatibilní s Mobile SDK V4, jsou typu multikoptéra, tak mají velmi malý čas letu, než je potřeba dobít baterie. Zároveň také není pro tyto drony možné automatické dobíjení. Kvůli tomuto faktu není aplikace vhodná například na obranné činnosti (například hlídání pozemku) či na logistiku (automatická přeprava zásilek).

V současné době existují alternativy k mojí aplikaci, které slouží pro specifické účely. Zásadní alternativou je aplikace DJI SmartFarm App, která je vyvíjena společností DJI a je kompatibilní pouze s jejich drony ze série DJI Agra. Tyto drony slouží pro zemědělské účely a jsou tedy vybaveny potřebným farmářským vybavením. Pomocí zmíněné aplikace je možné vygenerovat letový plán na základě rozlohy pole, nad kterým má dron létat. Další alternativou je dron RYZE Tello, který slouží k edukačním účelům. Pomocí těchto dronů můžou žáci programovat letové plány v programovacím jazyce Scratch nebo Python.

Moje aplikace ovšem převládá v jednoduchosti. Uživatel nepotřebuje konkrétní dron nebo umět programovat. Potřebuje pouze jeden z dronů, který podporuje Mobile SDK V4. Uživatelské rozhraní je jednoduché a přívětivé, takže se v něm jednoduše orientuje.

Dále jsou zde popsány nedostatky, které má moje aplikace, respektive použitého SDK.

První nedostatek v Mobile SDK V4 je podle mého možnost pohybu dronu do stran. Jedná se o velmi základní pohyb, kvůli kterému je potřeba, aby vývojář kostrbatě přepočítával souřadnice a až teprve na základě nich se mohl dron pohnout. Kvůli tomu, také není možné, aby dron byl natočen jedním směrem a letěl do strany. Dron se tedy při každém pohybu nejdříve musí natočit

směrem, kam letí a až poté se rozletí.

Bohužel velká škoda také je, že DJI přestalo vyvíjet Mobile SDK V4. Veškeré nové drony jsou již tedy kompatibilní pouze s Mobile SDK V5. Kvůli tomu také klesá možnost využití mé aplikace.

Již jsem zmiňoval, že SDK neumožňuje, aby dron během letového plánu dělal dva příkazy zároveň. Například let dopředu a naklánění gimbalu. I toto je velká nevýhoda, která brání vývojářům dělat ještě kreativnější aplikace.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] BLÁHA, Ondřej. K pojmenování dronu inspiroval trubec. *MujRozhlas* [online]. 2016 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://olomouc.rozhlas.cz/k-pojmenovani-dronu-inspiroval-trubec-6381101>
- [2] Bezpilotní letadla, drony. *AeroWeb* [online]. 2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/temata-clanku/180-bezpilotni-letadla-drony>
- [3] SCHROTH, Lukas. Drones and Artificial Intelligence. *Drone Industry Insights* [online]. 2018 [cit. 2023-02-05]. 178 s. ISBN 80-247-0442-0. Dostupné z: <https://droneii.com/drones-and-artificial-intelligence>
- [4] HERRICK, Shawn. The 3 Main Categories Of Drones And Their Advantages And Disadvantages. *Botlink* [online]. 2017 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://botlink.com/blog/the-3-main-categories-of-drones-and-their-advantages-and-disadvantages>
- [5] Different Types of Drones and Uses. *Jouav* [online]. 2022 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.jouav.com/blog/drone-types.html>
- [6] The impact of drones on the UK economy (2018). *Pwc.co.uk* [online]. 2018 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.pwc.co.uk/issues/emerging-technologies/drones/the-impact-of-drones-on-the-uk-economy-2018.html>
- [7] Skies Without Limits v2.0. *Pwc.co.uk* [online]. 2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.pwc.co.uk/issues/emerging-technologies/drones/the-impact-of-drones-on-the-uk-economy.html>
- [8] PATHAK, Himanshu, et al. *Use of drones in agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs* 2020 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://niasm.icar.gov.in/sites/default/files/pdfs/Use-of-Drone-in-Indian-Agriculture.pdf>

- [9] DJI Agriculture is Making Southeast Asia Bloom. *Ag.dji.com* [online]. 2019 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://ag.dji.com/newsroom/dji-ag-news-en-southeast-asia>
- [10] China's Agriculture Drone Revolution. *ipsos.com* [online]. 2019 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2020-10/china-agriculture-drones.pdf>
- [11] The agricultural drone regulation in Europe is becoming less stringent. *DroneHrp* [online]. 2019 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://drone.hrpeurope.com/the-agricultural-drone-regulation-in-europe-is-becoming-less-stringent/>
- [12] Drones in Hollywood: How Have Drones Changed the Film & Movie Industry. *Adorama* [online]. 2022 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <https://www.adorama.com/alc/drones-hollywood-film-movie-industry/>
- [13] Drony nad námi. Využívá je film, sport i zpravodajství. *Česká televize* [online]. 2014 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/media/1048654-drony-nad-nami-vyuziva-je-film-sport-i-zpravodajstvi>
- [14] TAYLOR, John William Ransom, MUNSON, Kenneth, ed. *Jane's Pocket Book of Remotely Piloted Vehicles*. Collier Books, 1977. ISBN 978-0020806400.
- [15] POHŮDKA, Petr. Šáhid, Bayraktar, Orlan-10 a další. Jak válčí drony na Ukrajině. *E15* [online]. 2022 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/valka-na-ukrajine/prehledne-sahid-bayraktar-orlan-10-a-dalsi-jak-valci-drony-na-ukrajine-1394666>
- [16] OTTO, Pavel. Dronům Bayraktar dělá ruská agrese reklamu. Ukrajinci s nimi likvidují nepřátelské kolony. *E15* [online]. 2022 [cit. 2023-02-07].

- Dostupné z: <https://www.e15.cz/valka-na-ukrajine/dronum-bayraktar-dela-ruska-agrese-reklamu-ukrajinci-s-nimi-likviduji-nepratelske-kolony-1388171>
- [17] Combat drones: We are in a new era of warfare - here's why. *BBC* [online]. 2022 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-60047328>
- [18] KALLBERG, Jan. Drones Will not Liberate Ukraine – but Tanks Will. *Cepa.org* [online]. 2022 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Jan-Kallberg/publication/362456720_Drones_Will_not_Liberate_Ukraine_-_but_Tanks_Will_CEPA/links/62eadde54532247693781f9e/Drones-Will-not-Liberate-Ukraine-but-Tanks-Will-CEPA.pdf
- [19] BARR, Alistair. Amazon testing delivery by drone, CEO Bezos says. *USA TODAY* [online]. 2013 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://eu.usatoday.com/story/tech/2013/12/01/amazon-bezos-drone-delivery/3799021/>
- [20] PALMER, Annie. Amazon wins FAA approval for Prime Air drone delivery fleet. *CNBC* [online]. 2020 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.cnbc.com/2020/08/31/amazon-prime-now-drone-delivery-fleet-gets-faa-approval.html>
- [21] HERN, Alex. Amazon claims first successful Prime Air drone delivery. *The Guardian* [online]. 2016 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/technology/2016/dec/14/amazon-claims-first-successful-prime-air-drone-delivery>
- [22] MINKOFF, Yoel. Amazon Prime Air drone deliveries began in time for Christmas. *Seeking Alpha* [online]. 2022 [cit. 2023-02-14].

- Dostupné z: <https://seekingalpha.com/news/3920677-amazon-prime-air-drone-deliveries-begin-in-time-for-christmas>
- [23] SHAKIR, Umar. Alphabet's Wing shows off drone deliveries from new command center. *Wing* [online]. 2022 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2022/12/9/23501326/wing-alphabet-remote-drone-command-centers>
- [24] Why Amazon, UPS and even Domino's is investing in drone delivery services. *EMarketer* [online]. 2023 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.insiderintelligence.com/insights/drone-delivery-services/>
- [25] ZAYCHENKO, Irina, Anna SMIRNOVA a Alexandra BORREMANS. Digital transformation: the case of the application of drones in construction. *MATEC Web of Conferences* [online]. 2018, (193), 7 [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201819305066>
- [26] BALASINGAM, Manohari. *Drones in medicine—The rise of the machines*. *International Journal of Clinical Practice* [online]. 2017, 71(9) [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ijcp.12989>
- [27] Drony nalétaly při požáru v Českém Švýcarsku skoro 10 tisíc kilometrů. *Idnes* [online]. 2022 [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/usti/zpravy/ceske-svycarsko-narodni-park-pozar-drony-monitoring.A220923_134349_usti-zpravy_grr
- [28] Policejní drony sledují nepovolené stanování nebo řidiče, kteří vjíždí, kam nemají. Technika je stále dokonalejší. *Česká televize* [online]. 2019 [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2925173-policejni-drony-sleduji-nepovolenestanovani-nebo-ridice-kteri-vjizdi-kam-nemaji>
- [29] RUSSELL, Stuart a Peter NORVIG. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* 4th ed. Pearson, 2020. ISBN 978-0-13-461099-3.

- [30] HOSNY, Khalid a Ahmad SALAH. *Recent Advances in Computer Vision Applications Using Parallel Processing*. Springer, 2023. ISBN 978-3-031-18734-6.
- [31] What is computer vision?. *Ibm* [online]. 2020 [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>
- [32] Computer vision in AI drones. *SuperAnnotate* [online]. 2022 [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <https://www.superannotate.com/blog/computer-vision-in-ai-drones>
- [33] SINGH, Ishveena. The top 5 drone manufacturers in the world. *DroneDJ* [online]. 2022 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://dronedj.com/2022/12/20/top-drone-manufacturer-world-ranking/>
- [34] SZ DJI Technology Co Ltd. *Bloomberg* [online]. [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/profile/company/1279798D:CH#xj4y7vzkg>
- [35] Alumni Kaleidoscope – Frank Wang. *The Hong Kong University of Science and Technology* [online]. 2018 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://hkust.edu.hk/news/entrepreneurship/alumni-kaleidoscope-frank-wang>
- [36] DJI Phantom 1 Quadcopter. *Wired Shopper* [online]. 2014 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: https://thewiredshopper.com/dji-phantom-1-quadcopter/?__cf_chl_tk=TUA9X62ABwrZyf3dQtlGIh4.UmMBBE07ulXuuWppJeM-1676977446-0-gaNycGzNCiU
- [37] Phantom. *DJI* [online]. [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/phantom>

- [38] DJI announces stabilized HERO mount, and camera-equipped Phantom quadcopter. *New atlas* [online]. 2013 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://newatlas.com/dji-phantom-vision-zenmuse-quadcopter/27028/>
- [39] SMITH, Korey. Differences Between All Four DJI Phantom 3 Models. *MyFirstDrone* [online]. 2016 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://filmora.wondershare.com/drones/dji-phantom-3-standard-vs-advanced-pro-4k.html>
- [40] CARDINAL, David. DJI Phantom 4: Real computer vision comes to a consumer drone. *ExtremeTech* [online]. 2016 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/extreme/223866-dji-phantom-4-real-computer-vision-comes-to-a-consumer-drone>
- [41] NORMAND, Jean-Michel. La grande mue du fabricant de drones Parrot. *Le monde* [online]. 2018 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: https://www.lemonde.fr/economie/article/2018/03/16/la-grande-mue-du-fabricant-de-drones-parrot_5271783_3234.html
- [42] STATT, Nick. French drone maker Parrot selected to develop spy aircraft for the US military. *TheVerge* [online]. 2019 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2019/5/28/18642728/parrot-drones-us-military-department-of-defense-contract-china-dji>
- [43] SHUTTS, Ian. Parrot ANAFI Ai – Review Of Features And Specs. *Dronezon* [online]. 2022 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.dronezon.com/drone-reviews/parrot-anafi-ai-review-of-features-and-specs/>
- [44] Robotický 4G dron Parrot ANAFI Ai pro fotogrammetrii. *Dronpro* [online]. 2020 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/roboticky-4g-dron-anafi-ai-pro-fotogrammetrii>

- [45] DE JAGER, Wiebe. Parrot Anafi USA review: thermal inspection drone – Blue sUAS. *Dronexl* [online]. 2021 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://dronexl.co/2021/01/14/parrot-anafi-usa-review-thermal-inspection-drone-blue-suas/>
- [46] XAG [online]. 2020 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.xa.com/en>
- [47] Přechodná období provozu UAS dle nařízení EU. *Létejte zodpovědně* [online]. 2020 [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: https://www.letejtezodpovedne.cz/legislativa/jak_letame_nyni/prechodne_obdobi
- [48] Pravidla pro létání s drony 2021. *Alza.cz* [online]. 2021 [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/pravidla-pro-drony-legislativa>
- [49] Základní informace k regulačnímu rámci EU pro bezpilotní systémy. *Úřad pro civilní letectví* [online]. 2020 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/zakladni-informace-k-regulacnimu-ramci-eu-pro-bezpilotni-systemy/>
- [50] Certifikovaná kategorie. *Létejte zodpovědně* [online]. 2020 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: https://www.letejtezodpovedne.cz/legislativa/jak_letame_nyni/kategorizace_provozu?cl
- [51] DJI Developer Technologies. *Dji* [online]. 2020 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/>
- [52] What is an SDK?. *RedHat* [online]. 2020 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.redhat.com/en/topics/cloud-native-apps/what-is-SDK>
- [53] DJI Developer Website Membership System. *DJI Developer* [online]. 2018 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/policies/membership/>

- [54] Deploy. *Dji Developer* [online]. 2020 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/document/ce784c1f-eaba-4be7-a1a5-b9cf6ce9105c>
- [55] Mobile SDK V4. *DJI Developer* [online]. 2020 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/mobile-sdk-v4/>
- [56] Swift. *Apple* [online]. 2023 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://developer.apple.com/swift/#fast>
- [57] Mobile SDK V5. *DJI Developer* [online]. 2020 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/mobile-sdk/>
- [58] Windows SDK. *DJI Developer* [online]. 2020 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/windows-sdk/>
- [59] Cloud API. *DJI Developer* [online]. 2020 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/cloud-api/>
- [60] DJI Flight Simulator. *Dji* [online]. 2023 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/simulator>
- [61] *Visual paradigm online* [online]. 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://online.visual-paradigm.com/>
- [62] GALLARDO, Estefanía García. What Is MVVM Architecture?. *Builtin* [online]. 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://builtin.com/software-engineering-perspectives/mvvm-architecture>

Seznam obrázků

1	Multikoptéra ve vzduchu	14
2	DJI Phantom 1 [37]	23
3	ANAFI Ai [44]	25
4	Screenshot z DJI Flight simulator	35
5	Myšlenková mapa	36
6	Use case aplikace	38
7	Diagram aktivit - vytváření plánu	39
8	Diagram aktivit - předletová kontrola	40
9	Uživatelské rozhraní aplikace	41
10	Obsah souboru Podfile	43
11	Ukázka kódu - registrace aplikace	44
12	Enum ActionType	45
13	Převod příkazu	47
14	Kód pro vykreslení pracovní plochy	48
15	Třída pro ukládání plánů	50
16	Vygenerované ikony	51
17	Schéma pro nahrání na AppStore [54]	51

Seznam tabulek

1	Relace podkategorií	28
---	-------------------------------	----