



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

DRONY A JEJICH APLIKACE

DRONES AND THEIR APPLICATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Mrkva

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Tomáš Mrkva**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Drony a jejich aplikace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Drony se staly užitečným pomocníkem v mnoha oblastech průmyslu, ale i zábavy. Slouží v energetice, zemědělství, využívají je záchranáři, umožňují nahrávání videí a fotografování z ptačí perspektivy, dokonce se používají i ve vojenských operacích.

Cíle bakalářské práce:

1. Popište oblasti využití dronů.
2. Uveďte základní principy jejich ovládání.
3. Blíže rozeberte vybraný typ.
4. Uveďte technické a ekonomické parametry dronů.

Seznam doporučené literatury:

JURAČKA, P. J.: Drony. Fotografování z ptačí perspektivy. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978- 80-247-5787-2.

VAŘÁK, J.: Možnosti hlasového ovládání bezpilotních dronů. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB-TU, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2017.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku
2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o současných trendech v oblasti aplikace a konstrukce dronů. V jednotlivých kapitolách jsou rozebrány základní komponenty na stavbu dronu, možnosti jejich ovládní, popis dynamiky pohybu, oblasti a možnosti využití, a nakonec průzkum trhu.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with nowadays trends of drones. In each chapter, basic components are described for drone building, ways of operating, dynamics of motion, ways of usage and in the end market research.

KLÍČOVÁ SLOVA

Drony, dynamika pohybu, aplikace, komponenty dronu

KEYWORDS

Drones, motion dynamics, applications, drone components

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MRKVA, Tomáš. *Drony a jejich aplikace*, Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135705>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Miloš Šeda.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce prof. RNDr. Ing. Miloši Šedovi, Ph.D. za vstřícný přístup a ponechání časové volnosti při psaní této závěrečné práce.

Mimo jiné bych chtěl také poděkovat mé rodině a blízkým přátelům za podporu během náročných a stresových situací během studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. RNDr. Ing. Miloše Šedy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 15. 5. 2021

.....

Tomáš Mrkva

OBSAH

ÚVOD	15
1 KOMPONENTY DRONU	16
1.1 Rám a krytování.....	16
1.2 Podvozek	17
1.3 Motory	17
1.4 Vrtule	18
1.5 Letová řídicí jednotka	18
1.6 Baterie.....	19
1.7 Dálkové ovládání	19
1.8 Gimbal a kamera.....	20
1.9 Antény	20
1.10 Senzory	21
1.10.1 IMU	21
1.10.2 Gyroskop	21
1.10.3 Magnetometr.....	22
1.10.4 Akcelerometr	22
1.10.5 GPS	22
1.10.6 Barometr	22
1.10.7 Dálkoměr	23
1.10.8 Senzor vyhýbání se překážkám	23
2 ZPŮSOBY OVLÁDÁNÍ	24
2.1 Dálkové ovládání	24
2.2 Mysl.....	24
2.3 Hlas.....	25
2.4 Gesta	25
3 DYNAMIKA POHYBU KVADROKOPTÉRY	26
3.1 Matematický model	26
3.2 Newton-Eulerovy rovnice.....	27
3.3 Druhy pohybů	30
3.3.1 Translační pohyb	30
3.3.2 Rotační pohyb.....	30
3.4 Navigační souřadnice	31
3.5 Výsledné rovnice rychlosti a zrychlení kvadrokoptéry	31
4 APLIKACE A VYUŽITÍ	33
4.1 Fotografie a kinematografie.....	33
4.2 Zemědělství	33
4.3 Armáda a policie.....	33
4.4 Doručovací služby	34
4.5 Meteorologie.....	34
4.6 Mapování	34
4.7 Záchrané služby	35
5 TYPY DRONŮ NA TRHU	36
5.1 DJI Phantom 4 Pro.....	36
5.2 DJI MINI 2	37
5.3 DJI Inspire 2	38

5.4	XM2 Cine.....	39
	ZÁVĚR.....	40
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	45

ÚVOD

Tato bakalářská práce se bude zabývat konstrukcí dronů a jejich aplikaci. V současnosti si drony začínají nacházet svoje místo ve velkém množství odvětví. Z toho důvodu je dobré vědět, jak fungují a z jakých hlavních komponentů se skládají, a kde se s nimi můžeme nejčastěji setkat.

Drony se vyskytují v různých konstrukčních variantách, především sériově vyráběné modely, tak i vyráběné „na míru“ a také skládané z volně dostupných komponentů. Všechny tyto typy mají stejné základní díly, ze kterých jsou tvořeny. Ty jsou rozebrány v první kapitole.

Ovládání pomocí dálkového ovladače je stále nejčastější, ale také se můžeme setkat s jinými průkopnickými nápady nebo vynálezy, jak lze dron ovládat. Proto druhá kapitola pojednává o základních typech pilotování, se kterými se u dronů, na trhu momentálně dostupných, můžeme setkat.

Třetí kapitola se věnuje vytvoření matematického modelu popisujícího pohyb dronu. Tento matematický model nám umožňuje naprogramovat jakýkoli způsob ovládání dronu.

Ve čtvrté kapitole se podíváme, kde a jakým způsobem lze dnes drony využít. Jaké možnosti nabízejí pro usnadnění nebo zlepšení dané činnosti v různých odvětvích od dopravních služeb až po policejní a armádní využití.

Poslední pátá kapitola je zaměřena na průzkum trhu a představení nejnovějších modelů dronů. Rozebrány budou čtyři modely od malého kapesního až po profesionální filmářský dronu používaný v Hollywoodu.

1 KOMPONENTY DRONU

Drony mají v dnešní době širokou škálu využití, a proto je také nutné pro každý způsob použití volit správné komponenty. Na trhu je nespočetné množství dronů v různých provedeních. Z toho důvodu je dobré mít přehled o základních komponentech dronů a o tom, jak fungují, a čím jsou právě tyto díly důležité.

1.1 Rám a krytování

Rám je základní prvek, na němž jsou uchyceny všechny ostatní součásti dronu. Nejčastěji bývá vyroben z kompozitních materiálů např. uhlíkových vláken, termoplastu nebo slitin hliníku. [1]

Součásti rámu jsou ramena viz obr. 1, na kterých jsou připevněny motory s vrtulemi. Design ramen je navržen s těžištěm, co nejbliž středu rámu, což zajišťuje dobrou ovladatelnost. Někdy se využívá barevné značení předních a zadních ramen pro zjednodušení orientace v prostoru. [1]

Krytování využíváme nejen pro zlepšení aerodynamických vlastností, ale především k ochraně elektronických součástek dronu při manipulaci nebo nárazech. [1]

Kapota je speciálně vytvarovaná tak, aby kladla, co nejmenší odpor vůči vzduchu. A taky, aby při dešti lépe odtékala voda. Dron s takto vytvarovanou kapotou má oproti dronu bez tvarované kapoty mnohem lepší ovladatelnost a manévrovatelnost. [1]



Obr. 1: Rám dronu z uhlíkových vláken [2]

1.2 Podvozek

Většina dronů využívá k bezpečnému přistání podvozek. Volba jeho provedení se odvíjí od způsobu využití. Rozdělujeme je na dva typy: pevný a vysouvací. [1]

Pevné podvozky mají zpravidla jednoduchou konstrukci v podobě ližin nebo čtyř noh. U větších dronů se můžou vyskytovat i kola spolu s brzdami pro zlepšení mobility na zemi. [1]

Aby se mohla využívat otočná kamera o 360° používá se servomotor, který slouží k vysouvání a zasouvání podvozku. Díky čemuž je možné schovat ze zorného pole kamery. Vysouvací podvozek je oproti pevnému náročnější na údržbu kvůli pohyblivému mechanismu, proto ho spíše najdeme ve vyšší cenové kategorii dronů. [1]

1.3 Motory

Používají se elektromotory viz obr. 2, protože neprodukují velké vibrace, jsou poměrně malé a jednoduché na údržbu. Existují dva typy: střídavé a stejnosměrné, a to buď kartáčové u menších dronů nebo bezkartáčové u větších. U bezkartáčových elektromotorů je nutnost mít ESC (elektrický kontrolér rychlosti). [1, 3]



Obr. 2: Stejnosměrný bezkartáčový motor [4]

Elektromotory fungují na principu přitažlivých a odpuzujících se magnetických polí, z čehož jedno je tvořeno permanentními magnety a druhé tvořeno elektrickým proudem z baterie. Jedno z polí je na rotoru, který se otáčí kolem statoru, čímž přeměňuje elektrickou energii na mechanickou energii rotace. [1, 3]

Stejnosměrné potřebují využívat komutátor, který po každé půlotáčce změni směr proudu. Pokud by se neměnil směr proudu, tak by se motor při změně magnetického pole netočil stále stejným směrem. Proto se nejčastěji se můžeme setkat se střídavým elektromotorem, který nemusí využívat komutátor, má všeobecně větší účinnost a je spolehlivější. [1, 3]

Elektromotory musí být vodě a prachu odolné, zároveň by se měli být schopny sami ochlazovat, aby se nemuselo zvlášť řešit jejich chlazení. [1, 3]

1.4 Vrtule

Vrtule dronů jsou připevněny k rotorům a jejich počet odpovídá počtu ramen. Musejí být zakřivené viz obr. 3, tak aby při jejich rotaci vytvářel podtlak na horní hraně, čímž dron vzletí. V závislosti na délce a zakřivení je ovlivněna velikost vznikajícího podtlaku, resp. ovladatelnost. [1]

Počet vrtulí je zpravidla sudý z důvodu zachování symetrie. Podle jejich počtu dělíme drony na: kvadrokoptéry, hexakoptéry, oktokoptéry atd. Dále vrtule mohou být pevné nebo sklopné, ty jsou skladnější. [1]



Obr. 3: Vrtule se zakřivením [5]

1.5 Letová řídicí jednotka

Mozkem dronu je FC (letová řídicí jednotka), která zabezpečuje souběžný chod všech motorů. Je umístěna v těžišti rámu, aby nenarušovala ovladatelnost. V závislosti na výrobci a typu jsou obsaženy různé senzory viz obr. 4 usnadňující ovládání např. IMU, gyroskop, GPS a spoustu dalších (viz kapitola senzory). [1]



Obr. 4: Letová řídicí jednotka [6]

1.6 Baterie

U dronů se používají lithium polymerové baterie (LiPO) viz obr. 5, kvůli jejich malé hmotnosti a malému samovybití. Čím menší samovybití, tím víc ampérů se dostane do rotorů a tím je dron hbitější. Rozlišujeme dva typy LiPO baterií: grafenové a LiHV, které poskytují vyšší napětí při plném nabití. Nejčastější jsou čtyřčlánkové s 14,8 V, ovšem se můžeme setkat i se tříčlánkovými nebo šestičlánkovými bateriemi. [1, 7]

LiPO baterie jsou náchylné na změny teploty, ve kterém se nacházejí. V zimě se jim snižuje výkonnost a vystavováním vysokých teplot se můžou snadno poškodit. [1, 7]



Obr. 5: Lithium polymerová baterie [8]

1.7 Dálkové ovládání

Dálkové ovládání funguje pomocí přenosu rádiových vln na frekvenci 2,4 GHz. Na ovladači viz obr. 6 můžeme najít dvě páky, které ovládají vždy kombinaci dvou operací. Pomocí levé páky zpravidla ovládáme počet otáček a rotaci dronu, pravá páka slouží k náklonu dopředu, dozadu, doleva nebo doprava. Některé ovladače mají tlačítka na úpravu výchozího naklonění dronu, aby pilot nemusel neustále vyrovnávat dron do stabilní polohy. [1, 9]



Obr. 6: Dálkové ovládání [10]

Častým vybavením bývá také monitor, tablet nebo mobil, díky kterým můžeme sledovat záběr z kamery v reálném čase. V některých případech lze dron ovládat přímo pomocí tabletu nebo mobilu. [1, 9]

1.8 Gimbal a kamera

Na dronech jsou různé kamery, od HD 30 FPS u levnějších až po 4K 60 FPS záznam u dražších typů. Pro dosažení co největší stability obrazu z kamery se využívá mechanická a digitální stabilizace obrazu. [1, 11]

Digitální stabilizace dokáže rozpoznat jednotlivé objekty a při otřesech se záběr kamery posune do opačném směru, čímž natáčený objekt zůstane ve stejné pozici. Pro tyto posuny se využívají pixely za hranici viditelnosti. [1, 11]

K mechanické stabilizaci se využívají podvěsy, které se dělí podle konstrukce na dva základní typy.

První konstrukce je založena na naklánění osy pomocí servomotorů. Tento typ je lehký na údržbu, má nízkou hmotnost. Není moc vhodná pro natáčení filmových záběrů, protože má pomalou stabilizaci. [1, 11]

Pohyb druhé konstrukce je vykonáván elektromotory, které jsou umístěny ve dvou nebo všech třech osách gimbalu viz obr. 7. Oproti předešlé konstrukci mají větší hmotnost a jsou složitější na údržbu. Využívají se pro kvalitnější záběry z důvodu rychlejší a plynulejší stabilizace. [1, 11]



Obr. 7: Tříosý gimbal [12]

1.9 Antény

Pomocí antén jsme schopni ovládat dron, sledovat obraz z kamery a přijímat různé signály ze zabudovaných senzorů. [1, 13]

Často přehlíženým bývá právě FPV anténa na přenos obrazu. Jako každé bezdrátové spojení musí i toto mít přijímač a vysílač. Vysílač přeměňuje video v podobě elektrického signálu na radiové vlny, které jsou přijímány na přijímači a přeměněny zpět na elektrický

signál. Díky tomu můžeme vidět na tabletu, mobilu nebo jiném připojeném displeji obraz v reálném čase. [1, 13]

Vhodná je všesměrová anténa umožňující přijímat signál pod jakýmkoli úhlem s vysokou kvalitou přenosu obrazu. Na rozdíl od směrové, která funguje jen v oblasti zhruba do 120°, ale je schopna vysílat signál na delší vzdálenosti. [1, 13]

1.10 Senzory

K ovládání dronu slouží senzory, které detekují řadu podnětů přes výšku, rychlost, polohu, tak i třeba světlo a mnoho dalšího. Mezi základní senzory se řadí IMU, GPS, gyroskop, akcelerometr. Další jsou použity podle způsobu využití. [1, 14]

Všechny senzory jsou napojené na letovou řídicí jednotku, která dále zpracovává data a posílá je do ovladače nebo okamžitě ovlivňuje pohyb dronu, aby například nedošlo k nárazu do překážky a tím možného poškození dronu. [1, 14, 15]

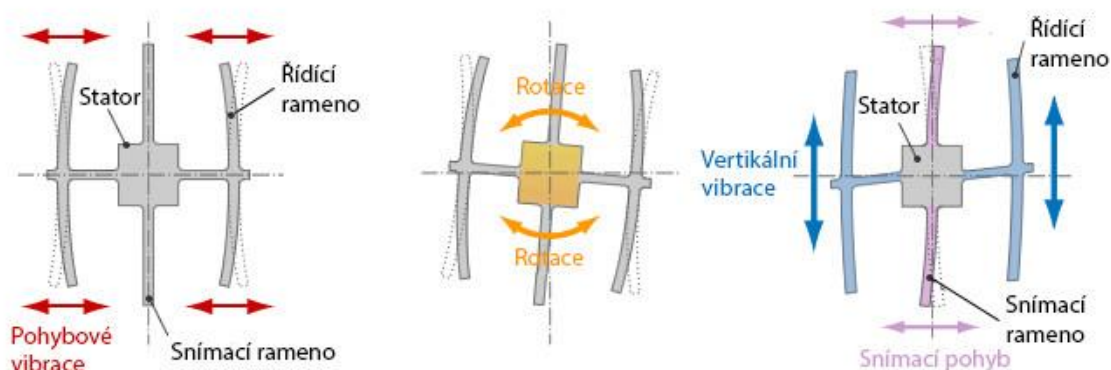
1.10.1 IMU

Setrvačná měrná jednotka je nutné elektronické zařízení, které za pomoci akcelerometru, gyroskopu a dalších senzorů určuje orientaci, rychlost dronu a gravitační síly, díky čemuž je možné dron ovládat. [1, 15–17]

1.10.2 Gyroskop

Gyroskop slouží k měření a udržování úhlové rychlosti, náklonu nebo rotace. Princip gyroskopu je v měření rotace ve třech základních osách. Změřené data jsou přeměňovány na elektrické signály, které jsou dále zpracovávány. [15, 18, 19]

V dronech se využívají vibrační gyroskopy, ve kterých je piezoelektrický měnič ve tvaru písmene H nebo dvojitého T. Při změně náklonu působí na jednotlivé ramena měniče Coriolisova síla, která způsobí vibraci viz obr. 8, díky níž je možné určit velikost a orientaci rotace ve všech třech základních osách. [18, 19]



Obr. 8: Princip funkce gyroskopu [18]

1.10.3 Magnetometr

Magnetometr je důležitý nástroj pro měření intenzity magnetického pole. Pomocí informací z porovnání změřeného vektoru magnetického působení na dron s magnetickým polem Země, dokážeme určit orientaci dronu v prostoru vzhledem ke světovým stranám a nadmořskou výšku, ve které se nachází. [15, 20]

1.10.4 Akcelerometr

K měření vychýlení dronu v jedné ze tří základních os používáme akcelerometr, který zpracovává statické gravitační zrychlení nebo náhlé zrychlení vyvolané například větrem. [9, 15, 21, 22]

V dronech se využívají MEMS akcelerometry, které pracují na principu změny vzdálenosti desek na kondenzátorech. Změny zrychlení vyvolávají vibrace, které natahují nebo smršťují pružiny. Ty jsou právě připevněny k jedné z desek kondenzátoru, čím se ovlivňuje kapacita kondenzátorů. Na základě kapacity jednotlivých kondenzátorů přijímáme různé signály, díky nimž jsme schopni určit naklonění ve všech osách a tím mít přehled o aktuální pozici dronu. [9, 15, 21, 22]

1.10.5 GPS

K určování polohy dronu vůči Zemi používáme GPS (globální polohový systém). Díky tomuto senzoru jsme schopni například naplánovat nebo přesně korigovat leteckou trasu nebo najít ztracené zařízení. [15, 23–25]

GPS se skládá ze tří částí: navigační družice, kterých je 31 rozmístěných 20 200 kilometrů nad zemí, pozemní stanice sloužících jako vysílač a přijímač umístěný v používaném zařízení. [15, 23–25]

Pozemní stanice vysílají navigační zprávy do satelitů, obsahující informace o orbitech, na kterých se nacházejí. Dále každý satelit neustále vysílá signál s přesným časem odeslání. Minimálně čtyři tyto signály putují do přijímače, kde je zaznamenán čas přijetí signálu. Na základě rozdílu času odeslání a přijetí spolu s navigačními zprávami se vypočítá aktuální poloha. [15, 23–25]

1.10.6 Barometr

Pomocí barometru si dron dokáže udržet letovou výšku bez nutnosti regulovat otáčky elektromotorů nebo automaticky vzlétnout a přistát. [15, 26]

Senzor určuje tlak vzduchu a následně nadmořskou výšku, ve které se nachází. Kvůli nezávislosti na informacích ze satelitů je tento způsob určování nadmořské výšky přesnější než pomocí GPS. [15, 26]

Stejně jako u gyroskopu se využívá piezoelektrický měnič. Podle množství vzduchu, které stlačuje měnič se mění jeho průhyb a tím se mění rezistivita obvodu. V závislosti na velikosti rezistivity jsme schopni zjistit působící tlak a z něj nadmořskou výšku. [15, 26]

1.10.7 Dálkoměr

Podobně jako barometr slouží dálkoměr k určování letové výšky. Existují dva typy dálkoměrů. První využívá sonar vysílající zvukové vlny, které se odráží od země zpět do senzoru. Na základě času, než se vrátí vyslaná zvuková vlna, se určí vzdálenost. Druhý typ senzoru funguje stejně, akorát místo zvukových vln využívá laser. Laserový dálkoměr dokáže měřit větší vzdálenosti než sonarový. [15, 27]

Měření výšky pomocí dálkoměrů je přesnější a rychlejší než barometrem. Jeho využití je ovšem omezené povrchem, nad kterým se dron nachází, a dokáže měřit jen do určité vzdálenosti. [15, 27]

1.10.8 Senzor vyhýbání se překážkám

Ne moc častým senzorem, kterým jsou drony vybavené je senzor na vyhýbání se překážkám. Podobně jako u čehokoli jiného existuje i tady více variant provedení. [15, 28]

Jednou variantou je použití stereoskopického senzoru. Ten snímá prostředí pomocí dvou kamer. Kombinací obou obrazů vytváří 3D prostředí, který se potom naviguje. Další variantou je využití sonického nebo laserového senzoru. Princip těchto senzorů byl již zmíněn v předešlé kapitole. [15, 28]

Nejčastěji se používá právě stereoskopický senzor na snímání okolí v horizontální rovině v kombinaci se sonickým nebo laserovým senzorem, který snímá prostor pod a nad dronem. [15, 28]

2 ZPŮSOBY OVLÁDÁNÍ

Existují různé způsoby, jak jdou drony ovládat. Můžeme je rozdělit do dvou základních skupin. Těmi jsou kontaktní a bezkontaktní ovládání. Mezi kontaktní řadíme pilotování pomocí dálkového ovládání a myslí, respektive čelenkou snímající mozkové vlny. Do bezkontaktní skupiny zahrnujeme ovládání pomocí hlasu nebo gest.

2.1 Dálkové ovládání

Nejběžnějším způsobem je využití dálkového ovládání, které využívá radiové vlny, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.7.

2.2 Mysl

Ne až tolik vzdálenou budoucností je právě ovládání dronů pomocí mysli. Funguje pomocí čelenky sloužící jako elektroencefalografické (EEG) zařízení. Tím se snímají elektrické aktivity v mozku, které jsou převedeny do počítače, kde jsou vnímány jako pokyny pro pohyb dronu. [29]

Průkopníkem je společnost Puzzlebox Orbit, která došla na trh s touto technologií v roce 2015. Vytvořili malý dron s volně dostupným softwarem, aby jej mohlo využívat široké okolí. Jejich hlavním účelem je zlepšování koncentrace, pozornosti a k relaxování mysli. [29, 30]

Zanedlouho po tom se na kickstarteru objevil projekt EEGSmart od čínské společnosti, který pracuje na vývoji dronu viz obr. 9 s možností 25 minut letu venku i vevnitř. Tento dron už nemá sloužit jen k dosažení mentální pohody člověka, ale jeho přednostní využití bude fotografování. [31, 32]



Obr. 9: EEGsmart dron [32]

2.3 Hlas

Na Heinrich Hertzově institutu v Berlíně vynalezli možnost ovládání dronu pomocí hlasu. Funguje na jakoukoliv vzdálenost díky přenosu hlasu přes mobilní síť, která je dostupná dnes již skoro všude. Dron je vybaven funkcí přepínání signálu mezi LTE a GSM sítí, pokud dojde k poklesu přenosu. V případě letu místem, kde není signál vůbec je přenos zajištěn pouze přes hlasový kanál, který je dostupný všude. [29, 33]

Tato metoda není ani finančně náročná, protože veškerá infrastruktura mobilních sítí je už postavena a funguje již několik let. Nehledě na to, že si kdokoliv může pořídit SIM kartu a začít tuto funkci využívat. [29, 33]

2.4 Gesta

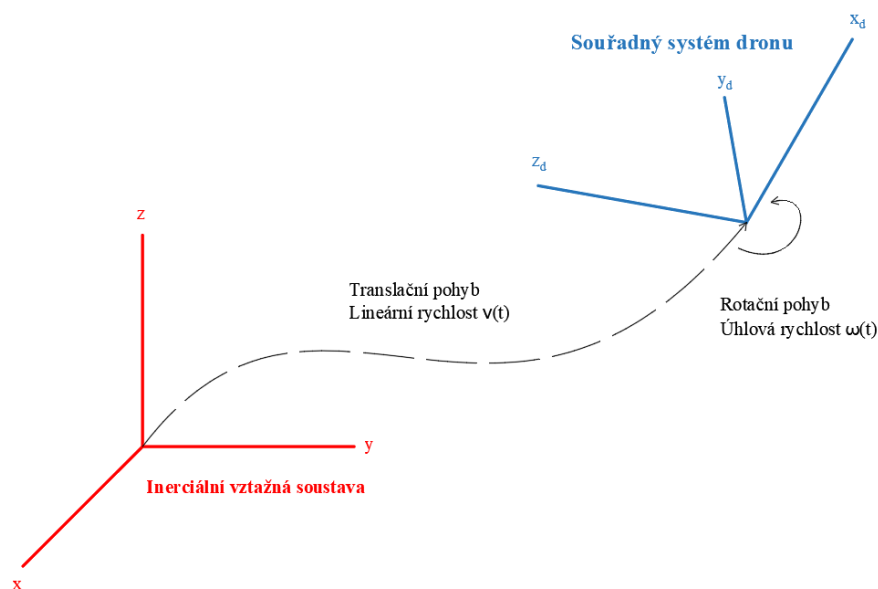
Ovládat dron pomocí gest rukou spolu s výrazy obličeje může pomoci při záchranných misích, a to zejména při komunikaci mezi záchranáři a lidem v nesnázi. Proto v Simon Fraserově univerzitě vynalezli umělou inteligenci, která rozpoznává pohyby rukou a podle nich naviguje dron.

3 DYNAMIKA POHYBU KVADROKOPTÉRY

Ovládat jakákoli dron by nebylo možné bez sestavení pohybových rovnic a určení aktuální polohy a rychlosti. Vzhledem k tomu, že nejčastější typ dronu je kvadrokoptéra, tak jsem se rozhodl sestavit matematický model a následně s využitím Newtonových a Eulerových rovnic zapsat jeho pohyb.

3.1 Matematický model

Pro absolutně určenou pozici dronu si potřebuje určit souřadný systém viz obr. 10, ve kterém definuje aktuální polohu a rychlosti dronu. Nejvhodnější je kartézský s počátkem shodným s těžištěm dronu. Pro popis lineární polohy dronu si definuje matici ξ (1) obsahující souřadnice x_d, y_d, z_d . [34, 35]



Obr. 10: Souřadné systémy [34]

$$\xi = \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{bmatrix} \quad (1)$$

Stejným způsobem musíme definovat matici úhlové polohy η (2), určující natočení kolem jednotlivých os φ, θ, ψ .

$$\eta = \begin{bmatrix} \varphi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} \quad (2)$$

Následně jsme schopni napsat matici q (3) s lineární a úhlovou pozicí dronu.

$$q = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} \quad (3)$$

Tím bychom měli určenou polohu, ale potřebujeme zjistit i aktuální lineární (4) a úhlové rychlosti (5). Ty zjistíme derivováním polohových matic (2) a (3) podle času.

$$\mathbf{v} = \frac{d\xi}{dt} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{d\eta}{dt} = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (5)$$

Dále je můžeme sepsat do jedné matice rychlostí \dot{q} (6).

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \mathbf{v} \\ \boldsymbol{\omega} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Nyní máme všechny potřebné veličiny pro určení polohy a rychlosti dronu. Zavedeme si matici Q (7), určující aktuální polohu a rychlost dronu.

$$Q = \begin{bmatrix} \mathbf{q} \\ \dot{\mathbf{q}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \varphi \\ \theta \\ \omega \\ u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (7)$$

3.2 Newton-Eulerovy rovnice

Teď je nutné určit polohu dronu vůči zemi, která je v našem případě inerciální vztažná soustava. Při popisu translačních pohybů budeme vycházet z druhého Newtonova pohybového zákona (8). Musíme uvažovat i s Coriolisovu sílu, která nám vyvolává zrychlení.[34, 36]

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m(\dot{\mathbf{v}} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}) \quad (8)$$

A z Eulerovy dynamické rovnice (9) pro rotační pohyby.

$$\mathbf{M} = \frac{d\mathbf{H}}{dt} = \mathbf{I} \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} = \mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} \quad (9)$$

Nyní si můžeme vyjádřit externí síly a momenty, které působí na dron nebo jsou jím vyvolány.

Tah vrtulí

Každá z vrtulí na dronu vyvíjí v ose z tahovou sílu. V případě kvadrokoptéry jsou čtyři vrtule, takže získáváme právě čtyři síly F_1, F_2, F_3 a F_4 . Ty si zapíšeme do matice tahových sil $F_t(10)$. [34]

$$F_t = \begin{bmatrix} F_{tx} \\ F_{ty} \\ F_{tz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \end{bmatrix} \quad (10)$$

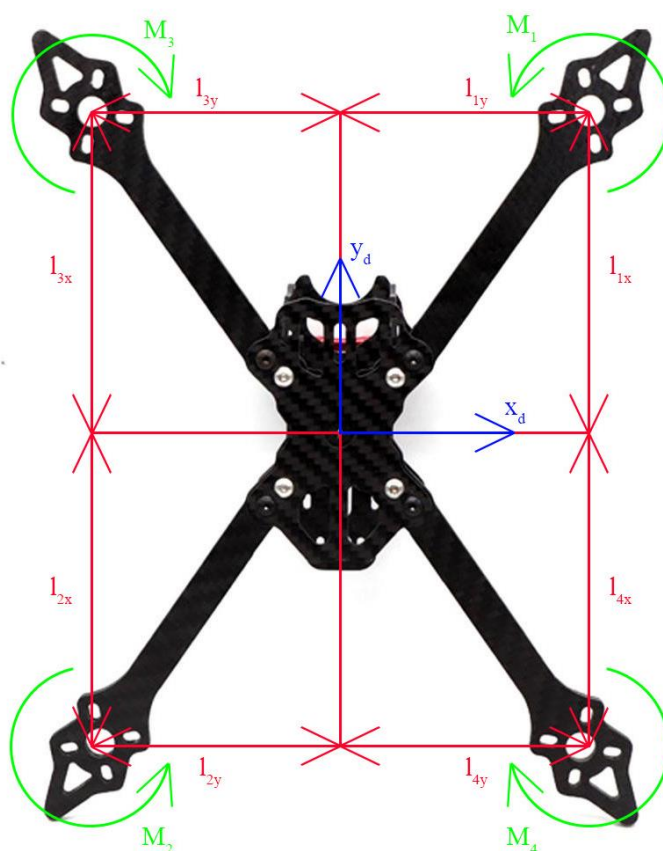
Vrtule také vyvolávají momenty M_x, M_y a M_z kolem každé ze tří os v závislosti na natočení dronu. Moment M (11) vypočítáme jako násobek vzdálenosti l od těžiště ke středu vrtule s příslušnou tahovou silou vyvolanou odpovídající vrtulí. [34]

$$M = \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 l_{1y} - F_2 l_{2y} - F_3 l_{3y} + F_4 l_{4y} \\ F_1 l_{1x} - F_2 l_{2x} - F_3 l_{3x} + F_4 l_{4x} \\ F_1 l_{1xy} - F_2 l_{2xy} - F_3 l_{3xy} + F_4 l_{4xy} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Kde vzdálenost l_{xy} (12) vyjádříme pomocí Pythagorovy věty.

$$l_{1xy} = l_{2xy} = l_{3xy} = l_{4xy} = \sqrt{l_{1x}^2 + l_{1y}^2} \quad (12)$$

Vrtule jsou instalovány ve dvojicích, z nichž jedna se otáčí ve směru a druhá proti směru hodinových ručiček viz obr. 11, aby se zamezilo neustálému otáčení dronu v jednom směru.



Obr. 11: Souřadný systém dronu [37]

Gravitační síla

V inerciální vztažné soustavě působí gravitační zrychlení, způsobující gravitační sílu F_G , jejíž účinky na dron zapíšeme do matice F_G (13).

$$F_G = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} \quad (13)$$

Abychom dostali účinky gravitační síly do souřadného systému dronu, je nutno použít Eulerovu matici úhlových transformací R (11), kde C představuje funkci $\cos(x)$ a S $\sin(x)$, a následně je mezi sebou vynásobit (15). [38]

$$R = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & C_\theta S_\psi & -S_\theta \\ -C_\theta S_\psi + S_\varphi S_\theta C_\psi & C_\varphi C_\psi + S_\varphi S_\theta S_\psi & S_\varphi C_\theta \\ S_\varphi S_\psi + C_\varphi S_\theta C_\psi & -C_\psi + C_\varphi S_\theta S_\psi & C_\varphi C_\theta \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$F_{gd} = R F_G = \begin{bmatrix} mg S_\theta \\ -mg S_\varphi C_\theta \\ -mg C_\varphi C_\theta \end{bmatrix} \quad (15)$$

Moment setrvačnosti

Moment setrvačnosti I neboli taky úhlová hmotnost nám udává, jak velký točivý moment musíme vynaložit na otočení o námi zvolený úhel. [34]

$$I = \int r^2 dm = \int \begin{bmatrix} 0 & -z & y \\ z & 0 & -x \\ -y & x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -z & y \\ z & 0 & -x \\ -y & x & 0 \end{bmatrix} dm \quad (16)$$

Po vynásobení matic dostaneme tvar (16.1).

$$I = \begin{bmatrix} \int (y^2 + z^2) dm & - \int xy dm & - \int xz dm \\ - \int xy dm & \int (x^2 + z^2) dm & - \int yz dm \\ - \int xz dm & - \int yz dm & \int (x^2 + y^2) dm \end{bmatrix} \quad (16.1)$$

Matici momentu setrvačnosti upravíme (16.2).

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (16.2)$$

Díky symetrii rozložení hmotnosti kvadrokoptéry se I_{xy} , I_{xz} a I_{yz} a dostáváme konečný tvar (16.3).

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (16.3)$$

3.3 Druhy pohybů

Nyní už známe všechny potřebné veličiny pro vyjádření jednotlivých pohybů, kterými jsou translační a rotační.

3.3.1 Translační pohyb

Dosazením do Newtonovy pohybové rovnice (8) respektive (8.1) námi vyjádřené veličiny dostáváme (8.2) a po úpravě vztah (8.3).

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad (8)$$

$$F_t + F_{gd} = m(\dot{v} + \omega \times v) \quad (8.1)$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} mgS_\theta \\ -mgS_\varphi C_\theta \\ -mgC_\varphi C_\theta \end{bmatrix} = m \left(\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -r & q \\ r & 0 & -p \\ -q & p & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \right) \quad (8.2)$$

$$\begin{bmatrix} mgS_\theta \\ -mgS_\varphi C_\theta \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - mgC_\varphi C_\theta \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} \dot{u} - rv + qw \\ \dot{v} + ru - pw \\ \dot{w} - qu + pv \end{bmatrix} \quad (8.3)$$

3.3.2 Rotační pohyb

Dosazením do Eulerovy dynamické rovnice (8) respektive (9.1) námi vyjádřené veličiny dostáváme (9.2) a po úpravě vztah (9.3).

$$M = I \frac{d\omega}{dt} \quad (9)$$

$$M = I\dot{\omega} + \omega \times I\omega \quad (9.1)$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -r & q \\ r & 0 & -p \\ -q & p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (9.2)$$

$$\begin{bmatrix} F_1 l_{1y} - F_2 l_{2y} - F_3 l_{3y} + F_4 l_{4y} \\ F_1 l_{1x} - F_2 l_{2x} - F_3 l_{3x} + F_4 l_{4x} \\ F_1 l_{1xy} - F_2 l_{2xy} - F_3 l_{3xy} + F_4 l_{4xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{xx} \dot{p} \\ I_{yy} \dot{q} \\ I_{zz} \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} qr(-I_{yy} + I_{zz}) \\ pr(I_{xx} - I_{zz}) \\ pq(-I_{xx} + I_{yy}) \end{bmatrix} \quad (9.3)$$

3.4 Navigační souřadnice

V tento moment jsme popsali pohyb dronu v jeho souřadném systému. Aby ho bylo možné ovládat a navigovat vůči zemi, tak musíme rovnici lineární rychlosti (4) a úhlové rychlosti (5) transformovat do souřadného systému inerciální vztažné soustavy. Toho docílíme použitím Eulerovy matice úhlových rotací v transformovaném stavu \mathbb{R}^T (17). Pro zjednodušení vzorců použijeme C pro $\cos(x)$, S pro $\sin(x)$, T pro $\tan(x)$. Po vynásobení dostáváme rychlosti vztahy vůči zemi (18) a (19). [34, 38]

$$\mathbb{R}^T = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & -C_\theta S_\psi + S_\varphi S_\theta C_\psi & S_\varphi S_\psi + C_\varphi S_\theta C_\psi \\ C_\theta S_\psi & C_\varphi C_\psi + S_\varphi S_\theta S_\psi & -S_\varphi C_\psi + C_\varphi S_\theta S_\psi \\ -S_\theta & S_\varphi C_\theta & C_\varphi C_\theta \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$v_z = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \mathbb{R}^T \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u C_\psi C_\theta + v(-C_\theta S_\psi + S_\varphi S_\theta C_\psi) + w(S_\varphi S_\psi + C_\varphi S_\theta C_\psi) \\ u C_\theta S_\psi + C_\varphi C_\psi + v S_\varphi S_\theta S_\psi + w(-S_\varphi C_\psi + C_\varphi S_\theta S_\psi) \\ -u S_\theta + v S_\varphi C_\theta + w C_\varphi C_\theta \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\omega_z = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \mathbb{R}^T \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p + T_\theta(q S_\varphi + r C_\varphi) \\ q C_\varphi - r S_\varphi \\ \frac{1}{C_\theta}(q S_\varphi + r C_\varphi) \end{bmatrix} \quad (19)$$

3.5 Výsledné rovnice rychlosti a zrychlení kvadroptéry

Teď už známe všechny veličiny pro popis aktuální pozice dronu vůči zemi a jeho rychlosti.

Pozice dronu a úhly natočení

Ze vztahu (18) lze vyjádřit aktuální pozici dronu v její derivované formě podle času. V ose x jí náleží rovnice (20), ose y (21) a v ose z (22). [34]

$$\dot{x} = u C_\psi C_\theta + v(-C_\theta S_\psi + S_\varphi S_\theta C_\psi) + w(S_\varphi S_\psi + C_\varphi S_\theta C_\psi) \quad (20)$$

$$\dot{y} = uC_{\theta}S_{\psi} + C_{\varphi}C_{\psi} + vS_{\varphi}S_{\theta}S_{\psi} + w(-S_{\varphi}C_{\psi} + C_{\varphi}S_{\theta}S_{\psi}) \quad (21)$$

$$\dot{z} = -uS_{\theta} + vS_{\varphi}C_{\theta} + wC_{\varphi}C_{\theta} \quad (22)$$

Úhly natočení lze stejně jako pozici vyjádřit tentokrát, ale ze vztahu (19). Kde natočení kolem osy x je dáno rovnicí (23), osy y (24) a osy z (25). [34]

$$\phi = p + T_{\theta}(qS_{\varphi} + rC_{\varphi}) \quad (23)$$

$$\dot{\phi} = qC_{\varphi} - rS_{\varphi} \quad (24)$$

$$\dot{\psi} = \frac{1}{C_{\theta}}(qS_{\varphi} + rC_{\varphi}) \quad (25)$$

Lineární a úhlové rychlosti

Podobně i zde si už můžeme vyjádřit aktuální rychlosti v derivované formě podle času. Lineární rychlosti dostaneme z rovnice (8.3). Pro lineární rychlost v ose x platí (26), ose y (27) a ose z (28). [34]

$$\dot{u} = mgS_{\theta} + ev - qw \quad (26)$$

$$\dot{v} = -mgS_{\varphi}C_{\theta} - ru + pw \quad (27)$$

$$\dot{w} = F_{tz} - mgC_{\varphi}C_{\theta} + qu - pv \quad (28)$$

Stejným způsobem vypíšeme úhlové rychlosti. Kolem osy x platí vztah (29), osy y (30) a osy z (31). [34]

$$\dot{p} = M_x + \frac{1}{I_{xx}}[qr(-I_{yy} + I_{zz})] \quad (29)$$

$$\dot{q} = M_y + \frac{1}{I_{yy}}[pr(I_{xx} - I_{zz})] \quad (30)$$

$$\dot{r} = \frac{1}{I_{zz}}[M_z + pq(-I_{xx} + I_{yy})] \quad (31)$$

4 APLIKACE A VYUŽITÍ

V dnešní době se drony využitelnost dronů rozrůstá do skoro do všech odvětví. V počátcích se využívali hlavně v armádě, ale postupem času je začali využívat ve filmu a fotografování a nyní je můžeme najít v oblastech od vesmírných výzkumů až po doručovací služby.

4.1 Fotografie a kinematografie

Nejvíce jsou drony rozšířené v kinematografii a fotografování. Záběry z dronů můžeme najít skoro u všech filmů, protože publiku přináší jedinečnou perspektivu. Tyto unikátní záběry můžeme rozdělit na letecké a pronásledující. [39–42]

Letecké záběry jsou nejčastěji použity v dokumentárních filmech při natáčení krajiny, měst či jiného prostředí. Jsou to také vynikající prvky při nastínění okolí příběhu, což dokáže publikum více vtáhnout do děje. [39–42]

Opakem jsou záběry, kdy dron pronásleduje určitý rychle pohybující se objekt například auto při automobilových honičkách. S tím se můžeme setkat nejčastěji u akčních filmů. [39–42]

4.2 Zemědělství

Starání se o hospodářská zvířata nebo plodiny se stalo díky dronům mnohem jednodušší z důvodu možnosti rychlého a snadného monitorování jejich růstu. Tato možnost ušetří farmářům a zemědělcům velké množství peněz, protože dokáže odhalit skoro hned nákazu plodin, kterou můžou za včas odstranit pomocí různých přípravků. Rozstřík těchto přípravků může být usnadněn využitím dronů. Naprogramovaný letoun se vypustí nad pole a přesně a rovnoměrně dává daný postřík. Díky nadhledu na pole můžeme také lépe navrhnout zavlažovací systém, který dokáže také ušetřit spoustu času a finančních nákladů. [39]

4.3 Armáda a policie

Hlavním důvodem, proč se začaly využívat drony pro vojenské účely, je co největší možné zmenšení rizika ztráty lidských životů v nebezpečných oblastech. Na rozdíl od dronů používaných v zemědělství nebo kinematografii jsou na ně kladeny mnohem větší technické nároky. Tím pádem jsou ve většině případů vyrobené na míru nebo aspoň programovatelná část je udělaná podle speciálních potřeb. [39, 39, 40, 42–44]

Drony přinesly mnoho nových strategií, využitelných pro sledovací účely nebo zásobování vojáků na bitevním poli. Další zajímavou a chytrou strategií je použít dron jako návnadu nebo odvedení pozornosti, která byla v minulosti málo využívaná z důvodu

nutnosti přítomnosti pilota v letounu, čímž se dostával do nebezpečné situace, kde riskoval svůj život. [39, 39, 40, 42–44]

Bojové letouny mají nosnost až 3 tuny a dokážou létat až 40 hodin, čímž se staly nedílnou součástí novodobých válečných konfliktů. Velmi často používanými modely jsou Predator C Avenger a MQ–9B SkyGuardian. [39, 39, 40, 42–44]

Důležitou součástí úspěšného boje jsou informace, které získáme pomocí sledovacích dronů. Ty jsou oproti bojovým malé, rychlé a jsou na ně kladeny vysoké nároky na manévrovatelnost. Často bývají vybaveny kamerou s nočním viděním pro noční špionáž. [39, 39, 40, 42–44]

4.4 Doručovací služby

V dnešní době je snaha poskytnout zákazníkovi, co rychlejší služby. Tento trend můžeme sledovat i u dopravních společností nebo u doručování jídla, kde se snaží zapojit do distribuce jejich služeb drony. [39, 40, 42, 45–47]

Příkladem je jeden z největších internetových obchodů Amazon, jehož cílem je plně zprovoznit službu Prime Air. Tato služba umožňuje zákazníkům dostat své zboží do 30 min právě za použití dronu. Zatím je tato funkce testována pouze ve vybraných velkých městech ve Spojených státech amerických a v pár evropských státech jako je například Francie, Rakousko nebo Spojené království. [39, 40, 42, 45–47]

První úspěšné doručení jídla dronem proběhlo v roce 2016 americkým řetězcem restaurací Domino's pizza. V současnosti společnost Uber Eats plánuje aktivně využívat drony viz obr. v San Diegu a zlepšit, tak rychlost doručování. Maximální doba letu by měla být 8 minut a dolet do 30 km. [39, 40, 42, 45–47]

4.5 Meteorologie

Vědci začali používat drony na monitorování a měření nejnižší vrstvy zemské atmosféry zvané mezní. Tato vrstva je ve výšce zhruba 1000 metrů nad mořem, čímž získali možnost přesněji měřit hodnoty teploty, vlhkosti a proudění větrů, které jim pomáhají lépe vytvářet nebo korigovat modely předpovědi počasí. Dále zjistili, že je možné podle tvaru povrchu Země učit modely změn počasí, co vedlo k dalšímu zpřesnění předpovědí. [40, 48]

4.6 Mapování

Mapování je důležitá součást většiny projektů díky, které jsme schopni přesně změřit a zaznamenat povrch země, a tím si rozvrhnout pracovní plochu. K tomu se začaly používat drony, kterými pořizujeme velké množství fotografií v řádů stovek. Ty se poté nahrají do speciálního programu na počítači, v němž se spojí fotografie a vytvoří přesný 3D model dané oblasti. Takto vytvořené 3D modely mají široké spektrum využití. [39, 40, 49]

Mezi přední obory řadíme stavebnictví. Dají se uplatnit při stavbě velkých projektů, kde pomáhají lépe rozdělit pozemek nebo na něm vymezit hranice nebo ulehčit návrh základů stavby. [39, 40, 49]

Při budování nových silnic a infrastruktury obecně lze takto zjistit výškové úrovně povrchu nebo jeho tvar efektivněji navrhnout, kudy povede daná cesta nebo jaký bude mít tvar. Stejný princip se využívá i u návrhu potrubí pro přepravu zemního plynu nebo ropy. [39, 40, 49]

V oblasti těžby bývá často nebezpečné pro lidi zkoumat doly, tak na jejich mapování používají drony. Další zajímá oblast je archeologie, kde se hodně ušetří čas a peníze prvotním průzkumem dané oblasti, který už může určit, jestli má cenu zde kopat. [39, 40, 49]

4.7 Záchranné služby

Drony začali využívat i záchranné jednotky přes hasiče, horské služby až po pátrající týmy. Tím se už zachránilo mnoho lidských životů, ať už je to při hledání ztracených lidí v lese, zasypaných lavinou nebo při zajišťování základních životních potřeb pro uvězněné lidi na horách, moři nebo při záplavách. [39, 42, 50–53]

Základní vybavení pro záchranné mise je termální kamera. Ta snadno odhalí ztraceného člověka na základě teploty lidského těla, zobrazená do teplých barev oproti tmavě modře zbarvenému prostředí, ve kterém se nachází. V noci se spolu s kamerou využívají i silná světla, osvětlující prohledávanou oblast pro lepší viditelnost. Dalším už ne tak častou součástí výbavy bývá mikrofon a reproduktory sloužící jako výborný prostředek pro přímou komunikaci s hledanou nebo už nalezenou osobou. [39, 42, 50–53]

Jsou také důležitou složkou při zneškodňování velkých požárů. Například při požáru v Kalifornii v roce 2019 o velikosti zhruba 600 km² bylo použito přes 500 dronů pro udržování přehledu o hořící oblasti a plánování následujících kroků pro co nejrychlejší a efektivnější záchranu prostředí. [39, 42, 50–53]

5 TYPY DRONŮ NA TRHU

Na trhu je spousta typů dronu od spousty výrobců pro různé účely. Proto jsem se na závěr rozhodl vybrat z každé kategorie alespoň jednoho a popsat jeho funkčnost, vlastnosti a využití. Nejvíce rozšířenými jsou drony od firmy DJI, která je svou velikostí, známostí a revolučností „Apple“ mezi drony. Proto v mém výběru je většina právě od nich.

5.1 DJI Phantom 4 Pro

Zlatou střední cestu u DJI je řada Phantom, která je i nejvíce medializovaná a rozšířená ve společnosti. Nejnovějším přírůstkem je model Phantom 4 Pro. Stejně jako jeho předchůdci si zachoval charakteristický tvar viz. obr. 12 a jak to bývá zvykem, posunul se po technologické stránce zas o krok vpřed. [54]



Obr. 12: DJI Phantom 4 Pro [54]

Nejdůležitějším prvkem dronů je kamera. Na tomto modelu najdeme CMOS senzor zaznamenávající video až ve 4K rozlišení s 60FPS nebo dokáže fotografovat v rozlišení 20MP. Výhodou využití CMOS oproti CCD senzoru je snímání obrazu jako jednotlivé body, ale disponuje menší citlivostí na světlo, což může vést ke vzniku šumu. Stabilitu obrazu je docílena motorizovaným tříosým gimbalem spolu s digitální stabilizací. [54, 55]

Dron je vybaven silným motorem umožňující rychlost letu až 72 km/h. Dále je možnost využít 5 naprogramovaných letových módů, které usnadňují natáčení. ActiveTrack dokáže rozpoznat objekty nebo osoby a následovat je. RTH vyhodnotí prostředí, ve kterém se dron nachází a určí ideální trasu letu. TapFly a Draw Mode pracuje s využitím dotykového displeje na ovladači, ve kterém stačí kliknout na místo, kam má

dron letět nebo mu přímo nakreslit trasu letu. Posledním módem je Gesture, při němž dron reaguje na vaše gesta. [54]

Součástí ovladače je 5,5palcová dotyková obrazovka. Pomocí funkce OcuSync 2.0 je možné přenášet signál v obou frekvencích a automaticky mezi nimi přepínat na základě menšího rušení, proto je možné mít plynulý přenos obrazu ve fullHD rozlišení. [54]

5.2 DJI MINI 2

Pokud hledáme kompaktnější a levnější variantu dronu musíme se podívat do řady Mavic. Zde se nachází model Mini 2, vyznačující se svojí velikostí, která je pouhých 14 cm viz obr. 13. To odpovídá velikosti větších smartphonů, takže při troše štěstí se vleze do kapsy od kalhot. [56]



Obr. 13: DJI Mini 2 [57]

Oproti Phantomu disponuje horší kamerou, která dokáže vyprodukovat video v rozlišení 4K, ale už jen se 30FPS, a fotografie v kvalitě 12MP. Stabilita natáčení je také zajištěna motorizovaným tříosým gimbalem. [56]

Software je více zaměřen na osobní využití například na dokumentaci při cestování, tvorbu zajímavějších sociálních sítí. Disponuje funkcí QuickShots, která automaticky vytvoří záběr složitý pro manuální řízení. Další ulehčením je možnost automatické úpravy barev, což ušetří čas pro běžné uživatele. [56]

Ovládání dronu je zajištěno pomocí menšího a jednoduššího ovladače propojeného se smartphonem, ve kterém lze okamžitě pomocí aplikace editovat a stáhnout nahrané záznamy. [56]

5.3 DJI Inspire 2

Jak už bylo zmíněno, tak dron nachází své uplatnění z velké části v kinematografii, takže se začali vyrábět modely právě za tímto účelem. Jedním z nich je Inspire 2, který nabízí širokou škálu vybavení pro zachycení nejlepších možných záběrů. [58]

Dominantou tohoto dronu je možnost výběru kamery. Na výběr je natáčení ve formátu CinemaDNG, využívaný pro natáčení filmů do kin, v 6K rozlišení nebo formát Apple ProRes v 5,2K. [58]

Aby byl dron schopný pracovat v jakýchkoliv podmínkách, je postaven z odolného a lehkého materiálu, viz obr. 14. To mu spolu s vysokovýkonnými motory umožňuje dosahovat rychlosti až 94 km/h, která usnadňuje natáčet záběry jedoucích aut nebo jiných rychle pohybujících se objektů. [58]



Obr. 14: DJI Inspire 2 [59]

Ovládání je stejně jako u modelu Phantom 4 ulehčeno letovými módy v kombinaci se senzory. Většina senzorů je zaměřených na snímání okolí ve všech směrech a následnému se vyhýbání překážkám. Nadstavbou je Spotlight Pro, což je pokročilý trackovací systém, který dokáže sledovat objekt nezávisle na směru letu a až poté, co dosáhne gimbal maximální rotace, se otočí samotný dron bez vlivu na jeho ovládání. [58]

Přenos obrazu do ovladače je zajištěn Lightbridge technologií v HD nebo FullHD kvalitě až do vzdálenosti 7 km v obou frekvencích s možným přepínáním podle její stability. [58]

5.4 XM2 Cine

Pokud se chceme podívat na opravdové drony, které se využívají v profesionální Hollywoodské produkci, musíme zaměřit do speciální na míru dělaných modelu. Jedním z nich je XM2 Cine. Na první pohled zaujme jeho velikostí a robustní konstrukci, viz obr. 15. Díky tomu dokáže unést profesionální kamery do hmotnosti až 30 kg. [60]



Obr. 15: XM2 Cine [60]

Můžeme se setkat se čtyřmi základními a těmi jsou Arri 235, základní kompaktní kamera vážící pouze 4 kg, RED Monstro 8K, její přednost je 8K rozlišení v 60FPS, Nokia Ozo 360° VR, sloužící pro tvorbu videí pro VR s rozlišením 2K. Poslední kamerou je Arrie Alexa 65, čímž se tento dron stal prvním, který dokázal operovat s nejvíce rozšířenou profesionální kamerou. [60]

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala současnými trendy v oblasti dronů. V jednotlivých kapitolách byly rozebrány důležité a základní komponenty na stavbu dronu, možnosti jejich ovládání, popis dynamiky pohybu, oblasti a možnosti využití a na závěr průzkum trhu.

V první kapitole byly popsány nejdůležitější součásti, přes samotný rám nesoucí veškeré ostatní komponenty včetně řídicí jednotky až po různé senzory, které lze využít pro usnadnění pilotování dronu.

Ve druhé kapitole jsme se seznámili se způsoby ovládání a zajímavými možnostmi pro jejich budoucí modernizaci. Ta spočívá v lepším využití bezkontaktních metoda, jako jsou například využití EEG, hlasu nebo gest.

Třetí kapitola byla zaměřena na popis pohybu dronu pomocí Newtonových a Eulerových pohybových rovnic, které nám umožnily sepsat rovnice dynamiky pohybu dronu. Bez nichž bychom nebyli schopni jakkoli dron ovládat z důvodu neznalosti jeho chování vůči Zemi.

Ve čtvrté kapitole pojednávala o široké škále využitelnosti dronů v dnešní době. Od fotografování a kinematografie, ve které nachází největší uplatnění, přes stavebnictví, kde tvoří důležitou složku při plánování staveb, až po záchranné služby, v nichž slouží k rychlejšímu a snadnějšímu hledání ztracených osob nebo kontroly požárů.

V poslední páté kapitole bylo porovnání dronů na současném trhu. Popsán byl populární dron DJI Phantom 4 Pro, kapesní dron DJI Mini 2, poloprofesionální filmařský dron DJI Inspire 2 a profesionální Hollywoodský dron XM2 Cine.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KARAS JAKUB a TICHÝ TOMÁŠ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [2] 8inch 360mm Wheelbase Carbon Fiber Body Frame for RC FPV Racing Drone Parts. *eBay* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.ebay.co.uk/itm/8inch-360mm-Wheelbase-Carbon-Fiber-Body-Frame-for-RC-FPV-Racing-Drone-Parts-/283556506260>
- [3] Drone Motors | Motors for Drones, UAVs, Unmanned Systems & Robotics. *Unmanned Systems Technology* [online]. [vid. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/category/supplier-directory/system-mechanical-components/motors-drives/>
- [4] *DJI Drone Motor Brushless DC Motor NFP-BL-2212 | NFP-Shop* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://nfpshop.com/product/dji-drone-motor-brushless-dc-motor-nfp-bl-2212>
- [5] ADMIN. What does the model of drone propeller mean? *LinkSprite Learning Center* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <http://learn.linksprite.com/drone/what-does-the-model-of-drone-propeller-mean/>
- [6] A2 - DJI. *DJI Official* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/a2>
- [7] DN. How to Choose Best LiPo Battery for your Drone | Quadcopter 4S | 3S | 2S | 1S - Drone Nodes. <https://dronenodes.com/> [online]. [vid. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://dronenodes.com/best-lipo-drone-battery-explained/>
- [8] Tattu 22.2V 25C 6S 10000mAh Lipo Battery Pack with AS150 Plug for UAV Drone. *GensTattu* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.genstattu.com/tattu-10000mah-22-2v-25c-6s1p-lipo-battery-pack-with-as150-plug.html>
- [9] DUKOWITZ, Zacc. Drone Controllers: A Look at How They Work and Important Terminology. *UAV Coach* [online]. 19. září 2019 [vid. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://uavcoach.com/drone-controller/>
- [10] *Buy Cendence Remote Controller - DJI Store* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://store.dji.com/cz/product/cendence-remote-controller>
- [11] *Electronic Image Stabilization | TDK* [online]. [vid. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://invensense.tdk.com/solutions/electronic-image-stabilization/>
- [12] *Buy Zenmuse X7 (Lens Excluded) - DJI Store* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://store.dji.com/cz/product/zenmuse-x7-lens-excluded>
- [13] DN. FPV Antenna Fundamentals - Drone Nodes. <https://dronenodes.com/> [online]. [vid. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://dronenodes.com/fpv-antenna-for-drone/>
- [14] Send in the Drones – 3 Types of Sensors Used in Drones | LORD Sensing Systems. *LORD Sensing Systems | Innovating Together* [online]. [vid. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.microstrain.com/blog/send-in-the-drones-3-types-of-sensors-used-in-drones>
- [15] What Sensors Do Drones Use? *3D Insider* [online]. 18. duben 2019 [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://3dinsider.com/drone-sensors/>
- [16] How to choose the right IMU (Inertial Measurement Unit) for an UAV. *Embention* [online]. 4. března 2020 [vid. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.embention.com/news/the-right-imu-for-an-uav/>
- [17] Selecting an Inertial Measurement Unit (IMU) for UAV Applications. *Unmanned Systems Technology* [online]. [vid. 2021-03-08]. Dostupné

- z: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/feature/selecting-an-inertial-measurement-unit-imu-for-uav-applications/>
- [18] *Gyro sensors - How they work and what's ahead | about Gyro sensor | Technical Information | other Information* [online]. [vid. 2021-03-08]. Dostupné z: https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/
- [19] Gyroscope Sensor- Working, Types & Applications. *ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students* [online]. 24. srpen 2019 [vid. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/gyroscope-sensor/>
- [20] *Magnetometer - an overview | ScienceDirect Topics* [online]. [vid. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/magnetometer>
- [21] MEMS Accelerometers | UAV Drone Accelerometer Manufacturers. *Unmanned Systems Technology* [online]. [vid. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/category/supplier-directory/electronic-systems/accelerometers/>
- [22] What is an accelerometer? *FierceElectronics* [online]. [vid. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-accelerometer>
- [23] *Satellite Navigation - GPS - How It Works* [online]. [vid. 2021-03-09]. Dostupné z: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks/
- [24] SYSTEMS, Positrex by LEVEL. Jak funguje GPS technologie - Positrex. *positrex.com* [online]. 23. března 2020 [vid. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.positrex.com/blog/jak-funguje-gps-technologie-a-jak-ji-muzete-vyuzivat-v-kazdodennim-zivote/>
- [25] *How Does GPS Work? | Time and Navigation* [online]. [vid. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://timeandnavigation.si.edu/multimedia-asset/how-does-gps-work>
- [26] How do aneroid and Torricellian barometers work? *Explain that Stuff* [online]. 25. říjen 2008 [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: <http://www.explainthatstuff.com/barometers.html>
- [27] *Measure Distance with a Sonar Sensor on an Arduino - Projects* [online]. [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/projects/measure-distance-with-a-sonar-sensor-on-an-arduino/>
- [28] KEKRE, Aditya. IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor With Arduino. *Medium* [online]. 16. červen 2020 [vid. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://medium.com/@kekreaditya/ir-infrared-obstacle-avoidance-sensor-with-arduino-714837ad9ef5>
- [29] Three Unique Ways To Operate Drones. *Design World* [online]. 9. srpen 2018 [vid. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://www.designworldonline.com/three-unique-ways-to-operate-drones/>
- [30] Puzzlebox Orbit: Brain-Controlled Helicopter. *Puzzlebox* [online]. [vid. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://puzzlebox.io/orbit/>
- [31] A drone you control with your mind is about to hit Kickstarter. *Futurism* [online]. [vid. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://futurism.com/the-byte/mind-controlled-drone-kickstarter>
- [32] *EEGSmart* [online]. [vid. 2021-05-07]. Dostupné z: <http://www.eegsmart.com/en/udroneIndex.html>
- [33] *Call a drone: Controlling drones via voice channels – Fraunhofer Heinrich Hertz Institute* [online]. [vid. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://www.hhi.fraunhofer.de/en/press-media/news/2018/call-a-drone-controlling-drones-via-voice-channels.html>

- [34] Modeling Vehicle Dynamics - Quadcopter Equations of Motion. *Autonomy in Motion* [online]. 7. červen 2017 [vid. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://charlestytler.com/quadcopter-equations-motion/>
- [35] LUUKKONEN, Teppo. Modelling and control of quadcopter. nedatováno, 26.
- [36] How Do Drones Fly? Physics, of Course! *Wired* [online]. nedatováno [vid. 2021-03-18]. ISSN 1059-1028. Dostupné z: <https://www.wired.com/2017/05/the-physics-of-drones/>
- [37] Quadcopter Main Frame Body for XSR220 RC FPV Racing Drone Accessories-buy at a low prices on Joom e-commerce platform. *Joom* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.joom.com/en/products/5d619afd36b54d010132fd2e>
- [38] Modeling Vehicle Dynamics - Euler Angles. *Autonomy in Motion* [online]. 25. květen 2017 [vid. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://charlestytler.com/modeling-vehicle-dynamics-euler-angles/>
- [39] Cool Business Uses for Commercial Drones - businessnewsdaily.com. *Business News Daily* [online]. [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.businessnewsdaily.com/9276-commercial-drones-business-uses.html>
- [40] How Drones Will Impact Society: From Fighting War to Forecasting Weather, UAVs Change Everything. *CB Insights Research* [online]. 9. leden 2020 [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.cbinsights.com/research/drone-impact-society-uav/>
- [41] How to Master Aerial Cinematography: Tips and Techniques. *StudioBinder* [online]. 20. září 2020 [vid. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-aerial-cinematography/>
- [42] *What Is A Drone? What Are Uses For Drones? | Built In* [online]. [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://builtin.com/drones>
- [43] INTELLIGENCE, Insider. Drone technology uses and applications for commercial, industrial and military drones in 2021 and the future. *Business Insider* [online]. [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-applications>
- [44] Drones in Military and how it is used by the Defense sector. *Grupo Fervimax* [online]. 27. listopad 2019 [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://fervimax.com/language/en/drones-in-military-and-how-to-get-the-most-out-of-this-technology/>
- [45] REID, David. Domino's delivers world's first ever pizza by drone. *CNBC* [online]. 16. listopad 2016 [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.cnbc.com/2016/11/16/dominos-has-delivered-the-worlds-first-ever-pizza-by-drone-to-a-new-zealand-couple.html>
- [46] Here's what the Uber Eats delivery drone looks like. *TechCrunch* [online]. [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://social.techcrunch.com/2019/10/28/heres-what-the-uber-eats-delivery-drone-looks-like/>
- [47] Is Drone Food Delivery a Real Thing? *Dronesvilla* [online]. 24. říjen 2019 [vid. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://dronesvilla.com/drone-food-delivery/>
- [48] Using Drones to Help Improve Weather Forecasts. *Unmanned Aircraft Systems* [online]. [vid. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://uas.noaa.gov/News/Articles/ArtMID/6699/ArticleID/824/Using-Drones-to-Help-Improve-Weather-Forecasts>
- [49] MARKETING, TOPS. How Are Drones Used in Surveying? | Surveying With Drones. *TOPS* [online]. 16. leden 2020 [vid. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.takeoffpros.com/2020/01/16/land-surveying-with-drones/>

- [50] Drones for search & rescue missions. *AltiGator Drone & UAV Technologies* [online]. 17. září 2014 [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://altigator.com/en/drones-for-search-rescue-missions/>
- [51] How are drones used in search and rescue. *Pix4D* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: [/blog/drones-search-and-rescue](https://pix4d.com/blog/drones-search-and-rescue)
- [52] *How Drones Are Reshaping The Future of Search and Rescue | DroneDeploy* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.droneDeploy.com/blog/how-drones-reshape-future-of-search-and-rescue/>
- [53] Search and Rescue Drone. *Airborne Drones* [online]. [vid. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.airbornedrones.co/search-and-rescue/>
- [54] Phantom 4 Pro V2.0 - DJI. *DJI Official* [online]. [vid. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/phantom-4-pro-v2>
- [55] CCD vs. CMOS - srovnání senzorů. *W-Technika* [online]. [vid. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.w-technika.cz/ccd-vs-cmos-srovnani-senzoru/>
- [56] DJI Mini 2 - Make Your Moments Fly. *DJI* [online]. [vid. 2021-04-23]. Dostupné z: photo
- [57] Review: the DJI Mavic Mini 2 is the perfect drone for beginners. *DPReview* [online]. [vid. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.dpreview.com/reviews/review-the-dji-mini-2-is-the-perfect-drone-for-beginners>
- [58] Inspire 2 - DJI. *DJI Official* [online]. [vid. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/inspire-2>
- [59] *Skycopter.cz* / *Technika* [online]. [vid. 2021-04-23]. Dostupné z: https://www.skycopter.cz/?page_id=15241
- [60] MONTI, Chris. Hollywood drone pilots reveal the cameras used on feature films at AUVSI 2019. *DroneDJ* [online]. 5. květen 2019 [vid. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://dronedj.com/2019/05/05/hollywood-drone-pilots-reveal-the-cameras-used-on-feature-films-at-auvsi-2019/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Seznam obrázků:

- Obr. 1 – Rám dronu z uhlíkových vláken [2]
- Obr. 2 – Stejnoseměrný bezkartáčový motor [4]
- Obr. 3 – Vrtule se zakřivením [5]
- Obr. 4 – Letová řídicí jednotka [6]
- Obr. 5 – Lithium polymerová baterie [8]
- Obr. 6 – Dálkové ovládání [10]
- Obr. 7 – Tříosý gimbal [12]
- Obr. 8 – Princip funkce gyroskopu [18]
- Obr. 9 – EEGsmart dron [32]
- Obr. 10 – Souřadné systémy [34]
- Obr. 11 – Souřadný systém dronu [37]
- Obr. 12 – DJI Phantom 4 Pro [54]
- Obr. 13 – DJI Mini 2 [57]
- Obr. 14 – DJI Inspire 2 [59]
- Obr. 15 – XM2 Cine [60]