



MATURITNÍ PRÁCE

Konstrukce dronu

Kryštof Maxera

vedoucí práce: Dr.rer.nat Michal Kočer

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s vyznačením všech použitých pramenů.

V Českých Budějovicích dne podpis

Kryštof Maxera

Abstrakt

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Klíčová slova

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Poděkování

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Obsah

I	Úvod do světa dronů	2
1	Definice a charakteristika dronů	3
1.1	Bezpilotní letadla	4
1.2	Bezpilotní pozemní vozidla	5
1.3	Hladinové plavidla bez posádky	5
1.4	Dálkově ovládané podvodní vozidla	6
1.5	Bezpilotní kosmické lodě	6
2	Anatomie multikoptéry	7
2.1	Rám	7
2.1.1	Tvar	7
2.1.2	Materiál	7
2.1.3	Velikost	8
2.2	Motory	8
2.2.1	Inrunner a outrunner	8
2.2.2	Kartáčové a bezkartáčové motory	9
2.2.3	AC a DC	9
2.3	Vrtule	9
2.4	Flight controller	10
2.5	Komunikační systém	10
2.6	Baterie	10
3	Fyzika letu dronu	12
3.1	Vertikální pohyb	12
3.2	Laterální pohyb	12

3.3	Rotační pohyb	13
II	Konstrukce kvadrokoptéry	14
4	Součástky	15
4.1	Rám	15
4.2	Motory	15
4.3	Vrtule	16
4.4	ESC	16
4.5	Rozvodná deska napájení	17
4.6	Baterie	17
4.7	Arduino	17
4.8	Bluetooth modul	18
4.9	Akcelerometr a gyroskop	18
5	Průběh Konstrukce	19
6	Vývoj flight controlleru	20
7	příklady v latexu	21
8	Vývoj flight controlleru	22
9	Program	24
10	Schéma zapojení	25
	Bibliografie	28
	Přílohy	31
A	Fotografie zkonstruované kvadrokoptéry	32
B	Kód programu Raspberry Pi Pico	33

Úvod

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Část I

Úvod do světa dronů

1 Definice a charakteristika dronů

Dron je definován jako zařízení nebo stroj schopný vykonávat úkoly bez nutnosti přímé fyzické přítomnosti člověka. Tato zařízení lze rozdělit do dvou základních kategorií.

První kategorii tvoří plně autonomní roboti, u nichž je přítomnost člověka vyžadována primárně z kontrolních a bezpečnostních důvodů. Pilot nebo operátor zde většinou nezasaahuje do aktivního řízení, ale v případě potřeby může převzít kontrolu. Typickým příkladem jsou autonomní bezpilotní letadla s možností vzdáleného ovládání nebo samořízené motorové vozidlo, které ke svému provozu nepotřebuje řidiče přítomného ve vozidle.

Druhá kategorie je pro veřejnost známější. Ta je také nazývána drony, přestože její součástí jsou dálkově ovládaná zařízení, která nejsou plně autonomní. Do této skupiny patří široce známé kvadrokoptéry a další multikoptéry, stejně jako autíčka na dálkové ovládání.

Důvodem časté záměny těchto dvou kategorií je překrývání některých funkcí, neboť i dálkově ovládané kvadrokoptéry využívají automatické systémy, například pro samovyvažování, které jsou nezbytné pro jejich stabilní let.

Drony lze obecně rozdělit do několika hlavních skupin na základě prostředí, ve kterém operují:

- **Bezpilotní letadla** (UAVs - Unmanned Aerial Vehicles)
- **Bezpilotní pozemní vozidla** (UGV - Unmanned Ground Vehicle)
- **Hladinové plavidla bez posádky** (USV - Unmanned Surface Vehicle)
- **Dálkově ovládané podvodní vozidla** (ROUV - Remotely Operated Underwater Vehicles)
- **Bezpilotní kosmické lodě** (Uncrewed spacecraft)

Přestože označení dron lze použít pro širokou škálu zařízení, pro širokou veřejnost je toto slovo primárně spjaté s dálkově ovládanými bezpilotními letadly. Samozřejmě však toto

označení není chybné. V této práci se zaměřujeme na konstrukci kvadrokoptéry, která spadá do kategorie bezpilotních letadel. O té práci pojednává podrobněji. [2]

1.1 Bepilotní letadla

Bepilotní letadlo je definováno jako zařízení určené k provozu ve vzdušném prostředí, které je buď řízeno dálkově operátorem, nebo schopno autonomního letu díky integrovanému softwaru a palubním senzorům.

Tato zařízení využívají pokročilé technologie pro navigaci, stabilizaci, komunikaci a sběr dat, přičemž jejich provozní komponenty se liší v závislosti na specifickém účelu použití. Obecně však tato zařízení zahrnují senzory nezbytné pro stabilizaci letu, jako je gyroskop a akcelerometr, spolu se senzory či moduly umožňujícími komunikaci. Komunikační technologie obvykle zahrnují přenos dat prostřednictvím rádiových vln, Wi-Fi, nebo mobilních sítí.

Tato zařízení lze dále klasifikovat na základě specifických parametrů, jako je typ konstrukce křídla, hmotnost, zdroj napájení či funkční zaměření.

Při klasifikaci na základě typu konstrukce křídla lze bepilotní letadla rozdělit do dvou hlavních skupin:

- Rotorová letadla - zahrnující jednorotorové a vícerotorové varianty, jako jsou trikopty, kvadrokoptéry, hexakoptéry a oktokopty.
- Letadla s pevnými křídly - zahrnují drony, které vyžadují pohyb vpřed k generování vztlaku pomocí křídel. Patří sem také hybridní drony s vertikálním vzletem a přistáním, jež nevyžadují přistávací dráhu.

Zařazení na základě zdroje napájení:

- Bateriový pohon - nejčastěji lithium-polymerové (Li-Po) nebo lithium-iontové (Li-Ion) baterie
- Benzinový pohon - spalovací motor poháněný benzinem
- Vodíkový pohon - napájení je zajištěno vodíkovými palivovými články, které generují elektrickou energii chemickou reakcí

- Solární pohon - solární panely umístěné na povrchu dronu zajišťují nepřetržité nabíjení během letu

Zařazení na základě nejběžnějších funkčních kategorií:

- rekreační využití
- letecká fotografie a videografie
- pátrací a záchranné operace
- vojenský průmysl
- stavební průmysl, monitorování a měření
- zemědělství
- dopravní a logistické služby

Tato skupina zařízení byla po dlouhou dobu spojována především s vojenským průmyslem. V současnosti však díky široké škále aplikací nacházejí stále větší uplatnění i v civilních oblastech, jako je průmysl, zemědělství nebo vědecký výzkum. Díky klesajícím cenám se osobní kvadrokoptéry stávají stále populárnějšími také pro rekreační účely. [2] [6]

1.2 Bezpilotní pozemní vozidla

Jedná se o pozemní vozidla bez potřebné fyzické přítomnosti člověka. Ve srovnání se vzdušnými bezpilotními drony jsou mnohem jednodušší na konstrukci, protože nevyžadují překonávání fyzikálních zákonů spojených s letem. Tato vlastnost přispívá k jejich širokému využití napříč různými sektory. Lze je nalézt například v zemědělství jako samosklízecí traktory, v oblasti samořídících dopravních prostředků, v těžebním průmyslu, v automatizovaných skladech s roboty pro transport zboží nebo v úklidovém sektoru, kde se využívají autonomní vysavače. Své uplatnění nacházejí také ve vojenském sektoru. [2]

1.3 Hladinové plavidla bez posádky

Plavidla pohybující se po mořské nebo sladkovodní hladině. Často jsou využívána pro těžební operace na moři, vědecký výzkum či monitorování vodních ekosystémů. Nelze opomenout

jejich vojenské využití. Tato zařízení používají pro komunikaci obdobné technologie jako bezpilotní letadla. [2]

1.4 Dálkově ovládané podvodní vozidla

Podvodní zařízení, určená převážně pro průzkumné a vědecké účely, představují klíčový nástroj pro studium mořského prostředí. Jejich fungování se však výrazně liší od ostatních autonomních systémů, a to kvůli technickým výzvám spojených s provozem ve velkých hloubkách. V těchto podmínkách je použití rádiových vln pro komunikaci téměř nemožné kvůli jejich omezené prostupnosti vodou. Namísto bezdrátové komunikace jsou proto tato zařízení často spojena s mateřskou lodí nebo ponorkou pomocí robustního kabelu, který slouží nejen jako přenosové médium pro data, ale i jako zdroj energie. [2]

1.5 Bepilotní kosmické lodě

Vesmír představuje ideální prostředí pro využití dronů, neboť je pro lidskou přítomnost extrémně nehostinný. Vesmírné drony nabízejí méně rizikové řešení pro dosažení různých cílů bez nutnosti návratu zařízení zpět na Zemi. Jejich využití zahrnuje kosmický prostor, kde slouží k prozkoumávání vzdálených objektů, povrchy nehostinných planet, kde fungují jako rovery, a oběžnou dráhu Země, kde podporují fungování klíčových technologií, jako je například GPS. [2]

Využití všech těchto typů dronů má společnou vlastnost. Jejich využití je na místech, kde lze pracovní sílu člověka nahradit automatickým zařízením nebo místech, které jsou příliš riskantní pro přítomnost člověka. Jejich nasazení se neustále rozšiřuje a lze bez pochybností předpokládat, že v budoucnu bude jejich význam dále narůstat.

2 Anatomie multikoptéry

Každá multikoptéra, ať už profesionálně vyrobená nebo sestavená v domácích podmínkách, se liší svým konstrukčním hardwarem. Nicméně většinu těchto zařízení spojuje použití podobných klíčových komponent. Tato kapitola se zaměřuje na podrobný popis nejběžnějších součástí, které byly využity při konstrukci kvadrokoptéry v praktické části práce.

2.1 Rám

Rám dronu tvoří základní konstrukční prvek, který drží všechny komponenty pohromadě. Typ rámu použitý u dronu má zásadní vliv na jeho celkové vlastnosti. Klíčovým aspektem při výběru a návrhu rámu je nalezení optimálního poměru mezi hmotností, velikostí a pevností, aby konstrukce byla co nejvíce odolná vůči nárazům a pádům, zároveň však nezvyšovala zbytečně hmotnost zařízení. Tento vyvážený design hraje významnou roli ve stabilitě, ovladatelnosti a životnosti dronu.

2.1.1 Tvar

První klíčovou vlastností rámu, na kterou je třeba se zaměřit, je jeho tvar. Konstrukce rámu musí odpovídat počtu vrtulí, což vyžaduje adekvátní počet ramen. Například trikoptéry disponují třemi rameny, hexakoptéry šesti, zatímco nejběžnější kvadrokoptéry mají čtyři ramena. Důležitým konstrukčním aspektem je také úhel mezi jednotlivými rameny, který ovlivňuje nejen stabilitu a letové vlastnosti dronu, ale také případné zorné pole připevněné kamery.

2.1.2 Materiál

Výběr materiálu rámu výrazně ovlivňuje dvě klíčové vlastnosti dronu: hmotnost a odolnost. Existuje široká škála materiálů vhodných pro konstrukci rámu. Základním kritériem

je dostatečná pevnost materiálu, která umožňuje jeho použití jako nosné struktury. Některé materiály poskytují výrazné výhody, díky nimž jsou preferovány.

Nejčastěji používané materiály zahrnují:

- Uhlíkové vlákno - vynikající pevnost a nízká hmotnost, vysoká cena, pro profesionální konstrukce
- Dřevo - snadná dostupnost, výborná tvarovatelnost, vhodné pro malé multikoptéry
- Hliník - vysoká pevnost a odolnost, nízká cena, vysoká hmotnost
- Pěna - převážně u malých dronů díky své nízké hmotnosti, omezená stabilita
- Plast - levný, lehký a snadno tvarovatelný materiál, možné použití 3D tisku

2.1.3 Velikost

V neposlední řadě je potřeba zvolit správnou velikost dronu. Obecně platí, že s rostoucí velikostí dronu se zvyšuje jeho hmotnost, ale zároveň i stabilita. Volba optimální velikosti závisí na požadovaných letových vlastnostech a plánovaném zatížení dronu. [2] [3] [4]

2.2 Motory

Existuje mnoho různých variant ze kterých vybírat. Každá se však svým provedením liší. Motor se skládá ze dvou částí, rotoru a statoru. Rotor je ta část motoru, která při používání rotoru točí a stator je ta část, která vždy stojí na jednom místě.

2.2.1 Inrunner a outrunner

Motory lze rozdělit do dvou podkategorií: inrunner a outrunner, přičemž klíčový rozdíl spočívá v uspořádání rotoru a statoru.

Inrunner motory mají rotor uvnitř statoru, otáčí se pouze hřídel motoru a vnější plášť zůstává statický. Tyto motory se vyznačují vysokými otáčkami (vyšší kV) a nízkým točivým momentem, což je ideální pro situace vyžadující rychlost.

Outrunner motory mají rotor na vnější straně statoru, takže se otáčí celý plášť motoru.

Tento design poskytuje nižší otáčky (nižší kV), ale vyšší točivý moment, což je ideální pro přímý pohon bez převodovky, například u vrtulí dronů nebo elektrokol.

2.2.2 Kartáčové a bezkartáčové motory

Jedná se o dvě hlavní konstrukce motorů, lišící se způsobem přenosu energie a účinností.

Kartáčové motory používají mechanické kartáče k přenosu elektrické energie na rotor, kde jsou umístěny cívky. Stator je tvořen permanentními magnety. Proud procházející cívkami vytvoří magnetické pole, které odpuzuje celý rotor tak, aby generoval točivý moment. Tento design je jednoduchý a levný, ale méně účinný kvůli tření kartáčů, což způsobuje vyšší opotřebení a ztráty energie.

Bezkartáčové motory mají cívky na statoru a rotor tvořený permanentními magnety. Energie je přenášena elektronicky pomocí regulátoru otáček (ESC), který ve správný čas mění polaritu cívky tak, aby odpuzovala permanentní magnety na rotoru. Tento způsob eliminuje tření kartáčů. Bezkartáčové motory jsou účinnější, spolehlivější a vhodné pro aplikace vyžadující vysoký výkon a přesnost, například drony nebo moderní elektromobily.

2.2.3 AC a DC

V neposlední řadě je klíčové správné spárování baterie s motorem. Baterie obvykle využívají stejnosměrný proud (DC), zatímco bezkartáčové motory povětšinou vyžadují střídavý proud (AC). V takových případech je nezbytné zvolit vhodný regulátor otáček (ESC), který zajistí správnou transformaci a distribuci elektrického proudu odpovídající požadavkům motoru. Kartáčové motory povětšinou ke svojí funkci vyžadují stejnosměrný proud. [2] [3] [4] [9]

2.3 Vrtule

Vrtule fungují podobně jako šroub. Jejich lopatky při otáčení “zavrtávají” do vzduchu a vytvářejí sílu, která pohání objekt vpřed nebo vzad.

Existují dva hlavní typy vrtulí: tažné (regular propellers) a tlačné (pusher propellers)

Tažné vrtule generují tah směrem dopředu a jsou navrženy tak, aby se otáčely po směru hodinových ručiček (CW). Naproti tomu tlačné vrtule vytvářejí sílu tlačící systém vpřed a otáčejí se proti směru hodinových ručiček (CCW). Kombinace těchto dvou typů vrtulí zajišťuje vyvážený, stabilní a snadno ovladatelný systém. [2] [3]

2.4 Flight controller

Často se označuje jako jeho „mozek“ celého dronu. Hlavní funkcí flight controlleru je automatické vyvažování dronu. Vyrovnává změny v pohybu, naklánění a rotaci, aby dron zůstal stabilní i v obtížných podmínkách, jako je vítr nebo nerovnoměrné rozložení hmotnosti. Díky tomu se pilot nemusí soustředit na neustálé drobné korekce, což usnadňuje manévrování.

Nejběžnější senzory součástí flight controlleru:

- Akcelerometr - Měří zrychlení ve třech osách (x, y, z) a pomáhá určit směr gravitace, což je nezbytné pro vyhodnocení naklonění dronu.
- Gyroskop - Sleduje rotaci a úhlové změny dronu, což umožňuje rychlé a přesné úpravy pro udržení stability.

Flight controller přijímá data ze senzorů a na jejich základě upravuje výkon jednotlivých motorů. [2]

2.5 Komunikační systém

Komunikační systém dronu slouží k přenosu informací mezi pilotem a samotným zařízením. Základem je RC ovladač, který se skládá z vysílače (drženého pilotem) a přijímače umístěného na dronu. Přijímač je přímo propojen s řídicí jednotkou (Flight Controllerem), která interpretuje přijaté signály a převádí je na odpovídající povely pro motory a další komponenty.

Pro základní ovládání jsou využívány minimálně čtyři komunikační kanály, které odpovídají následujícím funkcím: náklon do stran (Roll), náklon vpřed a vzad (Pitch), otáčení kolem svislé osy (Yaw) a regulace výkonu motorů (Throttle). Alternativně může být pro komunikaci využita technologie Bluetooth, která umožňuje ovládání dronu prostřednictvím mobilních zařízení.

2.6 Baterie

Baterie je zdrojem energie pro celý dron. Nejčastěji používané jsou lithiumpolymerové (LiPo) a lithium-iontové (Li-ion) baterie díky jejich vysoké energetické hustotě, nízké hmotnosti

a schopnosti dodávat vysoký proud. Alternativně se u některých systémů využívají nikel-metalhydridové (NiMH) baterie. NiMH baterie jsou odolné vůči hlubokému vybití a mechanickému namáhání. Při vysokém zatížení však poskytují nižší výkon ve srovnání s LiPo bateriemi.

Baterie mohou být zapojeny sériově nebo paralelně v závislosti na požadovaném výkonu a kapacitě. Sériové zapojení zvyšuje výsledné napětí při zachování stejné kapacity, což umožňuje vyšší výkon motorů. Paralelní zapojení naopak zvyšuje kapacitu při zachování stejného napětí, což prodlužuje dobu letu dronu.

Pro drony jsou ideální baterie s dostatečnou kapacitou (mAh), odpovídajícím počtem článků (S) a vysokým C-ratingem, který udává maximální proudový odběr. Tyto parametry je nutné sladit s výkonovými požadavky dronu.

3 Fyzika letu dronu

K zajištění letu kvadrokoptéry je nezbytné, aby byla schopna vykonávat tři základní typy pohybu: vertikální pohyb, laterální pohyb a rotační pohyb. Na základě třetího Newtonova zákona lze každý z těchto pohybů realizovat prostřednictvím čtyř rotorů kvadrokoptéry.

3.1 Vertikální pohyb

Newtonův třetí zákon pohybu stanovuje, že každé akci odpovídá stejně velká, avšak opačně orientovaná reakce.

V případě kvadrokoptéry dochází při rotaci jejích rotorů k vytlačování vzduchu směrem dolů, což představuje akční sílu. Na základě uvedeného zákona musí existovat odpovídající reakční síla, která působí směrem vzhůru na kvadrokoptéru. Jakmile velikost této vztlakové síly převyší gravitační sílu působící na kvadrokoptéru, dojde k jejímu vertikálnímu pohybu směrem vzhůru.

3.2 Laterální pohyb

Pokud vztlaková síla působí kolmo vzhůru, kvadrokoptéra se pohybuje vertikálně. Pokud však působí pod úhlem, dochází i k laterálnímu pohybu. Tento jev nastává v důsledku rozkladu vztlakové síly, která působí na dron jak ve vertikálním, tak v horizontálním směru. To způsobuje pohyb kvadrokoptéry do stran nebo ve směru dopředu a dozadu.

Laterální pohyb je realizován změnou rychlosti otáčení rotorů. Zvýšení rychlosti dvou rotorů na jedné straně kvadrokoptéry vede k nerovnoměrnému rozložení vztlakové síly. Strana s rychleji rotujícími rotory generuje větší vztlak než opačná strana, což způsobí, že se nakloněná kvadrokoptéra pohybuje směrem k oblasti s nižším vztlakem.

3.3 Rotační pohyb

Posledním typem pohybu kvadrokoptéry je rotace, která je výsledkem působení točivého momentu. Tento moment vzniká v důsledku otáčení rotorů, přičemž podle třetího Newtonova zákona se současně generuje síla stejné velikosti, avšak opačného směru.

Točivý moment ovlivňuje kvadrokoptéru při rotaci rotorů, neboť každý jednotlivý rotor generuje svůj vlastní moment síly. Celkový točivý moment působící na kvadrokoptéru je součtem momentů všech čtyř rotorů. Pro eliminaci tohoto momentu se využívá konstrukční řešení, při němž se dva rotory otáčejí ve směru hodinových ručiček a dva v protisměru. Tyto momenty se vzájemně vyruší, čímž se eliminuje nekontrolovaná rotace kvadrokoptéry.

Točivý moment lze však také využít k řízené rotaci kvadrokoptéry. Pokud se například rotory 1 a 3 otáčejí rychleji než rotory 2 a 4, výsledný moment síly proti směru hodinových ručiček převáží nad momentem síly ve směru hodinových ručiček, což způsobí rotaci kvadrokoptéry proti směru hodinových ručiček. Naopak, pokud se rotory 2 a 4 otáčejí rychleji než rotory 1 a 3, kvadrokoptéra se začne otáčet ve směru hodinových ručiček.

Pro správné fungování je potřeba mít dva druhy vrtulí tak, aby všechny tlačily vzduch směrem k zemi. Jak je patrné na obrázku 9, jeden typ rotoru má levý okraj listu výše v přední části, zatímco druhý typ má výše pravý okraj.

Část II

Konstrukce kvadrokoptéry

4 Součástky

Zkonstruovaný dron se skládá, bez kterých by jeho realizace byla nemožná. V této kapitole si ukážeme konkrétní použité zařízení a vysvětlíme si jejich specifikace. Tělo dronu se skládá z rámu, motorů, ESC, rozvodné desky napájení a baterie. Flight controller se skládá z Arduina, Bluetooth modulu, modulu gyroskopu-akcelerometru, nepřijívého pole. Většina těchto součástek byla zakoupena na online platformě Aliexpress.

4.1 Rám

Při konstrukci dronu byl zvolen 3D tištěný rám pro jeho nízkou hmotnost a dostatečnou mechanickou odolnost. Využití 3D tisku umožnilo výrobu rámu s přesnými rozměry a vlastnostmi dle individuálních požadavků. Pro samotný tisk byl použit standardní materiál PLA, který se vyznačuje snadnou tisknutelností a dostatečnou pevností pro danou aplikaci.

Model byl vytvořen jako upravená varianta existujícího designu dostupného na platformě Thingiverse (<https://www.thingiverse.com/thing:234867>). Tato stránka poskytuje veškeré potřebné modely pro 3D tisk, které jsou volně dostupné ke stažení. Díky této otevřené databázi bylo možné provést úpravy a přizpůsobit konstrukci dronu specifickým požadavkům. Do spojů vytištěného rámu byly integrovány šrouby a matice, které zajišťují pevné spojení jednotlivých komponent. Tato konstrukční metoda zvyšuje mechanickou stabilitu rámu a umožňuje snadnou demontáž či výměnu dílů v případě potřeby.

4.2 Motory

Jako pohonná jednotka byl zvolen bezkartáčový motor 2212 920KV, který nabízí optimální rovnováhu mezi výkonem a spotřebou energie. U dronů se obecně preferují outrunner motory, které jsou díky své konstrukci efektivnější, poskytují vyšší točivý moment a lepší chladicí vlastnosti, což je zásadní pro stabilní a efektivní let.

Hodnota KV udává počet otáček motoru za minutu (RPM) na jeden volt napájecího napětí bez zatížení. To znamená, že například motor 2212 920KV při napětí 1V dosáhne přibližně 920 ot./min, při 2V to bude 1840 ot./min atd.

Druhé uvedené číslo v označení motoru udává jeho rozměry. První dvě číslice (22) v označení motoru 2212 udávají průměr statoru v milimetrech, zatímco druhé dvě číslice (12) označují výšku statoru v milimetrech.

V neposlední řadě je důležité dbát na správnou orientaci závitu tak, aby se utahování vrtule vždy provádělo proti směru otáčení motoru. Toto řešení je klíčové z hlediska bezpečnosti, protože zabraňuje uvolnění vrtule při prudkém zpomalení nebo zastavení motoru. Pro stabilizaci letu je nutné, aby byly použity dva motory s pravotočivou rotací (CW - Clockwise) a dva s levotočivou rotací (CCW - Counterclockwise).

4.3 Vrtule

Zvolené vrtule nesou označení 1045, kde první dvě číslice označují průměr vrtule v palcích a poslední dvě číslice představují stoupání vrtule v palcích. Stoupání vrtule (propeller pitch) určuje vzdálenost, kterou by vrtule teoreticky urazila v jednom otočení při ideálních podmínkách. Vyšší stoupání znamená větší objem vzduchu přemístěného směrem dolů během rotace, což zvyšuje tah, ale zároveň zvyšuje aerodynamický odpor a zatížení motoru. Princip lze přirovnat ke závitům šroubu, kde stoupání určuje hloubku zavrtání na jednu otáčku. Obdobně u vrtule odpovídá stoupání tomu, jak hluboko se „zavrtává“ do vzduchu.

4.4 ESC

Brushless motory vyžadují třífázové napájení, což je poměrně složitý proces, který zajišťuje vestavěný mikrořadič v ESC. Z našeho pohledu stačí do ESC přivést napájecí proud a prostřednictvím signálního vodiče mu sdělit, jakou rychlostí se má motor otáčet.

Je důležité zajistit, aby ESC bylo kompatibilní s daným bezkartáčovým motorem. Klíčovými parametry jsou maximální napětí a proud, které ESC zvládne. Pro správnou funkci je také nutné ESC spájet s rozvodnou deskou napájení, která rozvádí napětí z baterie ke všem komponentům.

4.5 Rozvodná deska napájení

Rozvodná deska napájení (PDB) slouží k distribuci energie z baterie do všech komponent. Všechny čtyři ESC jsou k této desce připájeny a baterie je k ní připojena přes bezpečný napájecí konektor.

4.6 Baterie

Zdroj veškeré energie pro dron. V této práci byla vybrána baterie se specifikací LiPo 2200mAh 14.8V 30C 4S1P.

Začneme částí 4S. Bateriový pack je složen z jednotlivých malých bateriových článků. Jeden LiPo článek má vždy 4,2 V, když je plně nabitý, a 3,7 V, když je vybitý. Označení 4S znamená, že čtyři články jsou zapojeny sériově, což znamená, že výsledné napětí baterie se sčítá. Plně nabité napětí celého bateriového packu tedy činí 16,8 V.

Hodnota 2200mAh označuje celkovou kapacitu baterie, což znamená, že při odběru 2,2 A by baterie měla teoreticky vydržet jednu hodinu.

Posledním parametrem je C-rating, který udává maximální proud, který je baterie schopna dodat. Maximální proud lze vypočítat jako C-rating \times kapacita v Ah:

$$30C \times 2.2Ah = 66A$$

Tato hodnota představuje trvalý vybíjecí proud, který může baterie bezpečně poskytovat. Některé baterie mají také burst rating, což znamená, že krátkodobě mohou dodat ještě vyšší proud, například dvojnásobek této hodnoty.

4.7 Arduino

Arduino je programovatelný mikrokontrolér umožňující připojení dalších komponent pro specifické aplikace. Pro tento projekt byla zvolena platforma Arduino UNO, a to především díky vysokému počtu připojovacích pinů a jednoduché manipulaci. Arduino zde plní funkci řídicí jednotky letu (flight controlleru), která na základě vstupních údajů získaných prostřednictvím Bluetooth modulu a akcelerometru provádí výpočty potřebné k regulaci mo-

torů. Zařízení nevyžaduje samostatný napájecí zdroj, neboť je napájeno přímo z motorového obvodu.

4.8 Bluetooth modul

Bluetooth modul HC-05 je bezdrátový komunikační modul umožňující obousměrný přenos dat mezi mikrokontrolérem a externím zařízením. Pro tento projekt byl zvolen právě HC-05 díky své kompatibilitě s platformou Arduino UNO a jednoduché implementaci sériové komunikace prostřednictvím protokolu UART. Modul umožňuje bezdrátové ovládání a přenos řídicích signálů mezi uživatelským rozhraním mobilní aplikace a řídicí jednotkou letu. HC-05 pracuje ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz s maximálním dosahem přibližně 10–20 metrů, což je pro tento projekt dostačující. Přenosová rychlost modulu může dosahovat až 1 Mb/s, což umožňuje efektivní a spolehlivou komunikaci mezi zařízením a řídicí jednotkou.

4.9 Akcelerometr a gyroskop

MPU6050 je měřicí jednotka integrující tříosý gyroskop a tříosý akcelerometr do jednoho čipu, což umožňuje komplexní měření pohybu a orientace v prostoru. Pro tento projekt byl zvolen MPU6050 díky jeho vysoké přesnosti, kompaktním rozměrům a kompatibilitě s platformou Arduino UNO prostřednictvím sběrnice I²C. Modul poskytuje klíčová data o náklonu, zrychlení a úhlové rychlosti, která jsou využívána řídicí jednotkou při výpočtu stabilizačních algoritmů a optimalizaci řízení motorů.

5 Průběh Konstrukce

Prvním krokem v procesu konstrukce dronu bylo vytvoření jeho rámu pomocí 3D tisku. Po několika neúspěšných pokusech se podařilo úspěšně vytisknout jednotlivé součásti s požadovanou přesností a strukturální pevností. Pro zajištění vyšší soudržnosti konstrukce byly do klíčových částí rámu zataveny kovové závitové vložky, které umožňují pevné uchycení komponent pomocí šroubů. Tyto výztuhy byly umístěny především v centrální části rámu, kde bylo nezbytné pevně připojit ramena ke středu dronu, a na koncích ramen, kde dochází k upevnění motorů s vysokým tahem.

Dalším krokem byla instalace a zapojení napájecího systému. Jednotlivé napájecí vodiče motorů byly připájeny k rozvodové desce, která zajišťuje distribuci elektrické energie v celém systému. Stejným způsobem byl k rozvodové desce připojen hlavní napájecí kabel, přes který je k desce připojena baterie. Po dokončení byly motory upevněny na koncích ramen dronu tak, aby jejich směr otáčení odpovídal požadované konfiguraci letového systému.

Motory byly ke konstrukci připevněny pomocí šroubků, přičemž pro dodatečnou stabilizaci byly elektronické regulátory otáček (ESC) zajištěny pomocí instalačních pásek.

Po dokončení mechanické konstrukce dronu následoval klíčový krok, kterým je návrh a implementace řídicí jednotky letu (flight controlleru).

6 Vývoj flight controlleru

Hlavní řídicí jednotkou flight controlleru je Arduino UNO. Prvním krokem bylo připojení Bluetooth modulu HC-05 a modulu MPU6050, který integruje akcelerometr a gyroskop. Tyto komponenty byly propojeny s Arduinem pomocí vodičů a nepájivého kontaktního pole, což umožňuje flexibilní zapojení a případné úpravy obvodu.

Samotný řídicí software pro Arduino byl vytvořen v prostředí Arduino IDE, které je speciálně uzpůsobeno pro vývoj aplikací na platformě Arduino. Programovací jazyk použitý v kódu je C++, což umožňuje efektivní práci s hardwarem a implementaci nízkoúrovňových operací nezbytných pro řízení dronu.

Kromě programování řídicí jednotky bylo nutné vyvinout také mobilní aplikaci, která umožňuje ovládání dronu prostřednictvím Bluetooth komunikace. Pro tento účel byla využita aplikace Bluetooth Electronics, která poskytuje širokou škálu přizpůsobitelných tlačítek a předpřipravených ovládacích panelů. Tato aplikace rovněž umožňuje nastavení jednotlivých příkazů odesílaných přes Bluetooth a automaticky zajišťuje propojení mezi mobilním zařízením a Bluetooth modulem dronu.

Profesionální drony jsou vybaveny pokročilým softwarem pro stabilizaci a automatickou korekci polohy. Konstrukčně realizovaný dron však funguje pouze na principu přímého příjmu ovládacích příkazů, přičemž neobsahuje stabilizační algoritmy. Výsledkem je vysoká nestabilita a značná náchylnost k vychýlení během letu. Implementace stabilizačního systému by vyžadovala složité programování, které by významně rozšířilo rozsah této maturitní práce. Navržený dron je kompletně zhotoven po hardwarové stránce, přičemž zbývající vývoj pro stabilizovaný let se týká implementace softwarového stabilizačního systému v Arduinu.

7 příklady v latexu

text Odkaz v závorkách: (see 5, page 900)

Odkaz: [8]

A odkaz pod čarou:¹

Dobrý den, ahoj, atd.

Praha, tj. hlavní město ČR text

¹see 7, s. 42.

8 Vývoj flight controlleru

Obrázek 8.1 ukazuje Shangai z Pixabay.

Tabulka ?? ukazuje hádejte, co.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Výpis programu hello.c naleznete ve výpise 8.1.

```
1 #include <stdio.h>
2 #define CISLO 10
3
4 int main(void) {
5     int i = CISLO;
6
7     print("Hello World!\n");
8     print("%d", i);
9
10    return (0);
11 }
```

Zdrojový kód 8.1: hello.c

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus



Obrázek 8.1: Testovací

eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

```
11.0524  
5.5954  
6.7996  
13.8584  
15.1357  
Soucet: 52.4415
```

Příklad výstupního souboru

9 Program

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

10 Schéma zapojení

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Závěr

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Bibliografie

1. AERONAUTICS, National; ADMINISTRATION, Space. *Advanced Air Mobility: The Science Behind Quadcopters Reader Student Guide*. 04.2020 [cit. 2024-02-14]. Dostupné také z: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2020/05/aam-science-behind-quadcopters-reader-student-guide_0.pdf.
2. BAICHTAL, John. *Building your own drones: A Beginner's Guide to Drones, UAVs, and ROVs*. Indianapolis, Indiana: Que Publishing, 2016.
3. BERGQUIST, Caleb. *How to Build a Drone / A DIY Guide*. 23.03.2019 [cit. 2024-02-14]. Dostupné také z: <https://dojofordrones.com/build-a-drone/>.
4. DAKCHEUNGCHENG. *The Ultimate Guide to Building a Quadcopter From Scratch*. [cit. 2024-02-14]. Dostupné také z: <https://www.instructables.com/The-Ultimate-Guide-to-Building-a-Quadcopter-From-S/>.
5. EINSTEIN, Albert. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. (German) [On the electrodynamics of moving bodies]. *Annalen der Physik*. 1905, roč. 322, č. 10, s. 891–921. Dostupné z DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/andp.19053221004>.
6. GILLIS, Alexander S. *What is a drone (UAV)?* 07.2024 [cit. 2024-02-14]. Dostupné také z: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/drone>.
7. GOOSSENS, Michel; MITTELBACH, Frank; SAMARIN, Alexander. *The L^AT_EX Companion*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1993.
8. KNUTH, Donald. *Knuth: Computers and Typesetting*. [B.r.]. Dostupné také z: <http://www-cs-faculty.stanford.edu/~uno/abcde.html>.
9. PITTMAN, Haydon Kerk. *What is the Difference Between a Brush and a Brushless Motor?* [cit. 2024-02-14]. Dostupné také z: <https://www.haydonkerkpittman.com/learningzone/blog/2023/august/what-is-the-difference-between-a-brush-and-a-brushless-motor>.

Seznam obrázků

8.1	Testovací	23
-----	---------------------	----

Seznam tabulek

Přílohy

A Fotografie zkonstruované kvadroptéry

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

B Kód programu Raspberry Pi Pico