

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Bezkolizní navigační systém pro robotickou helikoptéru</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Mozgunova Anastasiia</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra kybernetiky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Matěj Petrlík
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Skupina Multi-robotických systémů, FEL, ČVUT

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání obsahuje jak rešerši používaných metod a senzorů pro bezkolizní let a řízení bezpilotní helikoptéry, tak samotnou implementaci celého systému. Pro vyřešení zadané úlohy bylo nutné implementovat jednotlivé části nutné pro autonomní let, což není lehká úloha. V práci je řešeno odhadování stavu helikoptéry z palubních senzorů pomocí Kalmanova filtru, stavění trojrozměrné mapy obsazenosti za letu z dat laserového senzoru pomocí OcTree datových struktur, optimální plánování v této mapě, generování splnitelné trajektorie a samotné řízení helikoptéry pomocí kaskády PID regulátorů až po řízení rychlosti jednotlivých motorů.	

<b>Splnění zadání</b>	splněno s menšími výhradami
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Všechny body zadání byly splněny. Mám k tomu však menší výhrady. Bezkolizní navigace není příliš spolehlivá, jelikož helikoptéra často narazí do překážky i přesto, že naplánovaná cesta je bezkolizní. Trajektorie je vzorkovaná s konstantní rychlostí, tudíž nerespektuje dynamický model helikoptéry. Sledování takové trajektorie tedy není přesné z důvodu velké regulační chyby. Vyhodnocení implementovaného systému by v bakalářské práci mělo být detailnější.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Díky rešerši, která je součástí práce, jsou zvolené metody adekvátní zadanému problému a také běžně používané v oboru autonomních helikoptér. Pro bezkolizní let mezi překážkami doporučuji místo kaskádního PID regulátoru implementovat SE(3) regulátor[1], který zajistí přesné sledování zadané reference.	

<b>Odborná úroveň</b>	C - dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
V práci jsou využity odborné znalosti z různých oborů (řízení, plánování, estimace stavu) pro vývoj všech částí systému pro bezkolizní let. Implementovaný systém je, až na pár chyb funkční a dovede doletět na zadanou pozici. PID regulátor se nezdá být příliš dobře nalazen a integrační složka je saturována pouze v jednom směru, což v kombinaci s generováním trajektorií nerespektujících omezenou akceleraci helikoptéry často vede ke kolizím s překážkou. Regulátor yaw rotace je sice implementován, ale jeho výstup se nepoužívá pro řízení. V práci se vyskytují nepřesné a zavádějící informace (several millimeters accuracy of GPS, Gyroscope can react to changes in rotation, Lidar measures information about remote objects).	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	D - uspokojivě
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Vzhledem k tomu, kolika problémům se práce věnuje, by mohla být obsáhlejší. Úvod o délce jedné stránky je i na bakalářskou práci příliš krátký. Seznam tabulek je zbytečný, jelikož práce žádné tabulky neobsahuje. Formální zápisy by byly srozumitelnější, pokud by vektory byly odlišeny od skalárů. Většina obrázků je příliš malá, což zhoršuje jejich čitelnost. Z pseudokódu hlavní smyčky není jasné, kde se bere current a desired state. U některých proměnných je uveden datový typ, u	

některých ne. Datové typy lze v pseudokódech úplně vypustit. Podle odevzdaného kódu je také desired state v druhé while smyčce jiný, než ve smyčce první, která zajišťuje vznesení se helikoptéry nad zem. Do seznamu obrázků nepatří celé jejich popisy, ale pouze stručný název. V obrázku 3.3 je cílová pozice (-7,-7,2) a ne (2,-7,-7). Některé rovnice obsahují chyby (3.24, 3.26). Sekce 3.4.2 by se měla jmenovat Attitude controller místo Altitude controller. Práce obsahuje menší množství drobných překlepů (například matematical místo mathematical, trust místo thrust, Areal místo Aerial).

#### Výběr zdrojů, korektnost citací

C - dobře

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Vybrané prameny jsou relevantní k řešené problematice a jsou vesměs korektně citovány. U publikací [ECM17, XY18, YJZ18] chybí rok a název sborníku, [LPMM18, MNG15] chybí název sborníku. V úvodní sekci Problem overview by měly být zmíněny publikace věnující se nasazením malých dronů ve zmíněných oblastech. 2 ze 3 zdrojů uvedených v zadání nebyly citovány.

#### Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Oceňuji snadno spustitelnou demonstraci v simulátoru, která dokládá funkčnost implementovaného systému.

### III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uvedte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Práce se skládá z kompletního systému pro bezkolizní navigaci helikoptéry v prostředí s překážkami. Náročnější zadání bylo úspěšně splněno. Řešení je funkční, s menšími nedostatky, které se jistě v budoucnu podaří odladit. Bohužel odevzdaná práce nedosahuje standardu bakalářských prací na katedře kybernetiky po stránkách formální úpravy a prezentace výsledků.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm C - dobře.

Přikládám dotazy k obhajobě:

- 1) Jaká je chyba regulátoru (max., RMSE) při sledování reference v průběhu letu na zadanou pozici (5,5,1)? Jaké přístupy je možné použít pro její snížení?
- 2) Výška helikoptéry se odhaduje na základě výšky z GPS přijímače. Tato výška je v reálných podmínkách značně nepřesná. Jaké další senzory se dají použít pro zpřesnění odhadu?
- 3) Zadání explicitně nezmiňuje, jaká konfiguraci motorů helikoptéry se má použít. Lze Váš systém použít i pro helikoptéru s jinou konfigurací motorů (např. 6X konfigurace)? Co by případně bylo potřeba změnit?

[1] Lee, T., et al, Geometric tracking control of a quadrotor UAV on SE(3), 2010 IEEE Conference on Decision and Control, pp. 5420–5425.

Datum: 1.6.2021

Podpis: