

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Plánování trajektorie pro autonomní přistání vícerotorové helikoptéry na loď
<b>Jméno autora:</b>	Bc. Ondřej Procházka
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra kybernetiky
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Tomáš Báča, Ph.D.
<b>Pracoviště vedoucího práce:</b>	Katedra kybernetiky, Skupina Multirobotických Systémů

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Předložená práce si klade za cíl navrhnout systém pro plánování pohybu bezpilotní vícerotorové helikoptéry za účelem přistání na lodi na rozvlhčené vodní hladině. Diplomová práce vyžadovala porozumění široké škály podproblémů v oblasti řízení a navigace vícerotorových bezpilotních prostředků. Práce dále vyžadovala testování navrženého systému v rámci experimentů v realistických podmínkách nad vodní hladinou. Z těchto důvodů hodnotím zadání práce jako <i>náročnější</i>.</p>	
<b>Splnění zadání</b>	splněno
<i>Posudte, 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>	
Student, dle mého názoru, splnil zadání ve všech bodech.	
<b>Aktivita a samostatnost při zpracování práce</b>	A - výborně
<i>Posudte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posudte schopnost studenta samostatně tvůrčí práce.</i>	
<p>Student na projektu pracoval dlouhodobě a to s velkým nasazením. Na práci pracoval pilně a ze své iniciativy docházel na pravidelné konzultace. Musím velmi ocenit studentovu ochotu zapracovávat mé návrhy a změny v textu práce a jeho otevřenost s jakou se stavěl ke konstruktivní kritice, kterou jsou mu poskytoval. Dále, reálné experimenty nevyžadovaly mou fyzickou přítomnost, což hodnotím jako veliké pozitivum.</p>	
<b>Odborná úroveň</b>	A - výborně
<i>Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
<p>Práce se řadí mezi nejpovedenější diplomové práce v naší skupině. Student projevil hluboký zájem o problematiku automatického řízení bezpilotních dronů a v rámci práce se snažil v maximální míře zužitkovat znalosti nabyté studiem. Po praktické stránce odvedl veliké množství práce v oblasti implementace, experimentální validace a dobře se zhostil i zpracování výsledků a evaluace.</p>	
<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	A - výborně
<i>Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
<p>Text práce prošel mnoha revizemi, které jsem měl možnost pravidelně a včas konzultovat s dlouhým předstihem před termínem odevzdáním. S výsledným textem jsem velmi spokojen. Rozsah práce je mírně nad doporučený rozsah magisterské diplomové práce, nicméně se domnívám, že je to v pořádku vzhledem k velkému množství odvedené práce. Po typografické stránce jsem s prací velmi spokojen. Student se celkem úspěšně snažil dosáhnout kvalitu sazby, které je běžná ve vědeckých publikacích.</p>	

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

A - výborně

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, 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.*

Student provedl rozsáhlou rešerši stavu problematiky a veškeré použité zdroje řádně cituje. Rešerše literatury v práci a forma zpracování referencí se svou kvalitou se podobá vědeckým publikacím.

**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.*

Student odvedl obrovské množství dobré práce a za dobu jeho aktivit se stal součástí skupiny MRS. Odevzdaná diplomová práce je dle mého názoru velmi kvalitní a rozhodně poskytla studentovi dobrý základ a zkušenosti s vědeckým psaním pro jeho budoucí doktorské studium. Očekáváme, že předložená práce bude přepracována do příspěvku na konferenci.

**III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE**

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení.*

*S prací studenta, s výstupy jeho práce a s předloženým textem práce jsme velmi spokojeni. Práce patří mezi ty nejlepší, které jsem měl tu možnost vést.*

Předloženou závěrečnou práci doporučuji k obhajobě a hodnotím ji klasifikačním stupněm **A - výborně.**

Datum: 31.1.2023

Podpis:

# Assessment of Masters' Thesis as an External Examiner

Title: **Trajectory Planning for Autonomous Landing of a Multicopter Helicopter on a Boat**

Author: **Ondřej Procházka**

Supervisor: **Ing. Tomáš Báča, Ph.D.**

External examiner: **Dr. Gaël Écorchard**

## **Fulfillment of Assigned Tasks**

The assigned tasks are of a high level of specialty and involve deep knowledge in control theory, UAV theory and practical knowledge in ROS and Gazebo. All assigned tasks were fulfilled including the optional real-world experiments.

## **Resolution Methods**

The resolution method implies linear Model Predictive Control (MPC) and allows to generate a trajectory from approach to landing. The student compare and justifies the choice of linear MPC over non-linear MPC by referring an article. This is appropriate but, given the relative old age of the article, a justification by implementing both control methods would have been better.

The linear MPC includes states from the USV. The state variables from the USV are appropriately obtained by Linear Kalman Filter by deriving the motion model including wave and wind input. I could not find the complete list of USV state variables.

The study of various QP solvers shows that the student went beyond the assigned tasks and studied the problem thoroughly.

The presented work includes the identification of the necessary model parameters for the UAV. It is not clear to me why these parameters were not used in the simulation model. In Gazebo, the inertial parameters are part of the description of the simulated object and the parameters corresponding to the real object should have been used there.

## **Obtained Results**

The most significant result is probably the obtention of the simulation of the USV on wavy water and this simulation environment is precious for further developments of the team's endeavour. The student conducted numerous tests of the landing algorithms with various conditions using the simulated world. It would have been however more appropriate to do more tests of landing on the USV that follows a predefined trajectory and separate the result between landing far from any direction change, before them and after them.

It is very positive that the experiments in the simulator were accompanied by real-world experiments but it is unclear in the manuscript of student Ondřej Procházka what is his role in the first round of experiments since the only presented result is the one of another student, Filip Novák. It is thus impossible for me to assess the first round of experiment as being part of Ondřej's work and I will focus on the second round of real-world experiments. The experiment show that the developed system is functional and gave good results, though no statistically-sound results can be obtained from this single-shot experiments. More thorough real-world experiments would have been welcome, but this

is, I guess, not completely in the responsibility of the student. The fact that the heading control was turned off during the experiment should have been justified.

### **Practical Requirements**

The thesis is very clear and well written. Some sentences could have been rephrased to render them more clear and some articles (with vs. without, definite vs. finite) were incorrectly used but the text was easy to read and comprehend in general. The thesis is very well presented and the figures are of good quality. The bibliographic references are numerous and adequate.

### **General Comments and Conclusion**

The primary goals of the thesis are achieved and cover the theoretical part with the modeling of the UAV's and USV's behavior as well as the control system up to real-world experiments. The functionality of the automated landing procedure was thoroughly tested in the simulation system developed by the student and verified by a real-world attempt.

Some questions remain to the student that would be worth answering during the oral defense of the manuscript. How do you switch between the controllers with UAV states to the one with UAV and USV? In Section 5.1.1, you state that the yaw angle adjustment ensures that the USV is in the field of view and that you adjust the yaw to avoid collision. However, since the stereo camera seems to be pointing downwards, I do not understand the link between the yaw angle and both the field of view and collision. A scheme with the UAV, its sensors and their field of view is missing in the manuscript. What is the reason for modeling a WAM-V vessel when the team uses another type of boat?

As a conclusion, I advise the commission to evaluate the presented Masters' thesis with the grade

**A - Excellent.**