

## I. IDENTIFICATION DATA

<b>Thesis title:</b>	<b>Honeybee comb mapping using a robot</b>
<b>Author's name:</b>	Jiří Janota
<b>Type of thesis :</b>	master
<b>Faculty/Institute:</b>	Faculty of Electrical Engineering (FEE)
<b>Department:</b>	Department of Control Engineering
<b>Thesis reviewer:</b>	Jan Blaha
<b>Reviewer's department:</b>	Department of Computer Science

## II. EVALUATION OF INDIVIDUAL CRITERIA

<b>Assignment</b>	<b>extraordinarily challenging</b>
<i>How demanding was the assigned project?</i>	
The assignment was extraordinarily demanding, both in scope and in technical difficulty. The student was asked to solve a new, large task as a part of an international team working on the RoboRoyale project. They had to gather requirements to formalize the initial idea, process raw data from long-term experiments, design the solution, implement, and iterate the whole process until reaching the desired performance.	

<b>Fulfillment of assignment</b>	<b>fulfilled</b>
<i>How well does the thesis fulfill the assigned task? Have the primary goals been achieved? Which assigned tasks have been incompletely covered, and which parts of the thesis are overextended? Justify your answer.</i>	
The student thoroughly analyzed the given task and fulfilled all points of the assignment. The results of the thesis are slightly diminished because of a problem encountered with the data recorded from the robot. This problem was not caused by the student and thanks to them it was immediately resolved for future recording. Despite missing expected inputs for their work, the student still managed to complete the assignment and demonstrate the capabilities of their solution, which will be very useful when applied to new data from this season.	

<b>Activity and independence when creating final thesis</b>	<b>A - excellent.</b>
<i>Assess whether the student had a positive approach, whether the time limits were met, whether the conception was regularly consulted and whether the student was well prepared for the consultations. Assess the student's ability to work independently.</i>	
The student established themselves as an important part of the project team, they regularly discussed the progress, and ideas with both me and the project PI. Still, most of the solution was proposed and devised by the student independently, based on the feedback from the team, complementing the team's skills nicely.	

<b>Technical level</b>	<b>A - excellent.</b>
<i>Is the thesis technically sound? How well did the student employ expertise in his/her field of study? Does the student explain clearly what he/she has done?</i>	
The student demonstrated very strong foundations and practical skills in a unique robotic application. They had to rely on knowledge of machine learning for computer vision, ROS, and robotic mapping methods, which are all very important and contemporary skills in the field. Apart from the thesis text, which is comprehensive, the student also provided all codes very nicely organized and documented, showing attention to detail.	

<b>Formal level and language level, scope of thesis</b>	<b>B - very good.</b>
<i>Are formalisms and notations used properly? Is the thesis organized in a logical way? Is the thesis sufficiently extensive? Is the thesis well-presented? Is the language clear and understandable? Is the English satisfactory?</i>	
Formalism and notations are used appropriately and at a satisfactory level. Where helpful, the student uses equations to	

promote readability and support their reasoning. The thesis is rather extensive, which is simply caused by the complexity of the task. A non-standard structure had to be devised, and, in my opinion, it greatly helps to understand the text. I have two minor reservations: the amount of text in Alg. 1 and the clarity of the writing could be improved a bit in some places.

## Selection of sources, citation correctness

**A - excellent.**

*Does the thesis make adequate reference to earlier work on the topic? Was the selection of sources adequate? Is the student's original work clearly distinguished from earlier work in the field? Do the bibliographic citations meet the standards?*

The student performed a thorough research of the literature in the field, as well as previous works on similar tasks in technology-enabled bee research and moving-camera observations.

## Additional commentary and evaluation (optional)

*Comment on the overall quality of the thesis, its novelty and its impact on the field, its strengths and weaknesses, the utility of the solution that is presented, the theoretical/formal level, the student's skillfulness, etc.*

Apart from the work on the thesis, the student provided well-documented implementations and several datasets that are relevant for future research on the topic. In addition to all that student already successfully submitted part of the work for a conference publication [1] to receive peer-review feedback in the process and collaborated on a related journal publication [2]. In cooperation, we are now preparing the contents of the thesis itself for publication in a top-tier journal.

### III. OVERALL EVALUATION, QUESTIONS FOR THE PRESENTATION AND DEFENSE OF THE THESIS, SUGGESTED GRADE

*Summarize your opinion on the thesis and explain your final grading.*

The student presented a thesis that is of a very high quality. In their work, they had to solve a real task in a complex multidisciplinary Horizon Europe project. They approached the problem creatively with a great deal of enthusiasm and technical skill, demonstrating the ability to do independent engineering work in their field. The outcomes of the thesis will be very valuable to the project in the near future---both technically and academically---and potentially to the whole field of biology research on honeybees.

I believe that the committee should regard this work as exceptional.

The grade that I award for the thesis is **A - excellent**.

Date: 29.5.2024

Signature: Jan Blaha

[1] Jiří Janota et al. Towards robotic mapping of a honeybee comb. In *International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS)*, to appear, 2024.

[2] Jiří Ulrich et al. Long-term tracking of individual, collective and social behaviors in honeybees by cooperating robots. *Science Robotics*, in review.

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Honeybee Comb Mapping Using a Robot
<b>Jméno autora:</b>	Bc. Jiří Janota
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Matouš Vrba
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Multirobotické systémy

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Student musel projevit dobré teoretické znalosti při výběru a nasazení vhodných metod pro řešení jednotlivých dílčích podproblémů a dobré technické dovednosti při jejich integraci.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<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 bez výhrad.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>vynikající</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Student rozumně rozdělil navrhovaný systém na podproblémy, pro každý vhodně zvolil několik kandidátních metod, a ty následně vyhodnotil a porovnal v experimentech. Tento způsob řešení považuji za naprosto správný.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Použité metody a jejich experimentální vyhodnocení by mohly být popsány lépe. Mnoho konceptů je popsáno pouze slovně, což vede k nejednoznačnosti interpretace. Často by pomohlo přidání rovnic a jasnější zavedení použitých proměnných. Kapitola 6 o testování a vyhodnocení metod je nepřehledná také v důsledku matoucího zavádění různých datasetů s odlišnou reálnou a simulovanou chybou odometrie, použití různých metrik pro vyhodnocení obdobných metod, apod. Byť jsou některé části textu kvůli tomu hůř čitelné a nejasné, vybrané metody jsou jinak správně aplikovány a výsledky experimentů jsou rozumně interpretovány.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Práce obsahuje občasné hovorové prvky a vágní obraty, které nejsou stylisticky vhodné. Opakuje se několik typografických a gramatických chyb, jako jsou chybějící tečky za popisky obrázků, citace mimo větu (za tečkou), nebo rovnice, které nejsou součástí věty. V textu se také vyskytuje několik téměř duplicitních vět a odstavců. Celkově je ale z formálního a jazykového hlediska práce na velmi dobré úrovni.	

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**A - výborně**

*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.*

V práci je citováno velké množství relevantních referencí a řešerše poskytuje dobrý přehled o problematice. Počet citací je možná až zbytečně velký, byť na druhou stranu trochu chybí přehled dalších metod vizuálního mapování a reprezentace mapy prostředí kromě SLAMu. U několika citací chybí některé bibliografické údaje, nebo obsahují drobné formátovací chyby (hlavně chybějící velká písmena v názvech). Jedná se ale převážně o malé výhrady.

**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, že příložené zdrojové kódy jsou přehledně zdokumentovány. Také kvituji motivaci práce, která je velmi relevantní, a doufám, že toto téma bude dále rozvíjeno.

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

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

I přes mé výtky k formální stránce práce a k popisu použitých metod a výsledků vyhodnocení se bezesporu jedná o velmi kvalitní práci. Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

K práci mám několik doplňujících otázek:

- Při zarovnání obrázků implicitně předpokládáte, že leží na stejné průmětné rovině. Řešil jste nějak kompenzaci zkreslení kamery? Pokud ano, jaký model zkreslení jste použil, a jak jste ho kalibroval? Pokud ne, mohla by taková kompenzace zlepšit přesnost zarovnání obrázků?
- Podle schématu na obr. 15 se zdá, že není možný přechod stavu buňky např. z posledního stadia vývoje dělnice do nového vejce za dobu kratší než jeden den kvůli nutnému přechodu přes stav odpovídající prázdné buňce (stav „other“). Podobně není možné, aby se buňka s medem vyprázdnila za kratší dobu, než jeden den (nutný přechod přes stav „nectar“). Odpovídá toto biologickým reáliím úlu, nebo se jedná o zjednodušení modelu systému stavu buňek?

Datum: 12.06.2024

Podpis: