

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	Improving Sampling-Based Motion Planning Using Library of Trajectories
<b>Jméno autora:</b>	Michal Minařík
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra kybernetiky
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Vojtěch Vonásek, Ph.D.
<b>Pracoviště vedoucího práce:</b>	Katedra kybernetiky

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	náročnější
<p><i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i> Tématem práce je randomizované plánování pohybu, což je oblast, se kterou jsou studenti seznámeni až v magisterském programu. Práce tedy vyžadovala nastudování těchto metod a dále jejich propojení s algoritmy pro výpočet podobnosti 3D objektů. Proto téma hodnotím jako mírně náročnější.</p>	

<b>Splnění zadání</b>	splněno
<p><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> Zadání je splněno, student naimplementoval všechny potřebné metody, navrhl jejich vylepšení, propojil je s existujícími knihovnamí a experimentálně ověřil funkčnost navrženého řešení. Výsledkem je vylepšení stávajících metod, jehož přínos je experimentálně prokázán.</p>	

<b>Aktivita a samostatnost při zpracování práce</b>	A - výborně
<p><i>Posuďte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posuďte schopnost studenta samostatně tvůrčí práce.</i> Michal Minařík je velmi pracovitý, aktivní a samostatný student. Je vynikající programátor, byl schopen rychle implementovat všechny potřebné metody, ale i používat cizí knihovny. Zároveň prokázal schopnost hledat ve vědecké literatuře a implementovat metody podle vědeckých článků, což ne vždy bývá jednoduché. Na konzultace (online i prezenční) chodil vždy perfektně připravený, sám mě v průběhu semestru informoval o postupu prací a sám navrhoval další kroky. Na každou konzultaci vypracoval detailní report s rozбором aktuálních prací. Z těchto reportů pak vznikl základ textu bakalářské práce.</p>	

<b>Odborná úroveň</b>	A - výborně
<p><i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i> Cílem práce bylo vyzkoušet zrychlení metod plánování pohybu s využitím knihoven trajektorií. Student musel nejen naimplementovat příslušné algoritmy plánování pohybu, ale také použít metodu pro porovnávání 3D objektů. Navržený postup je správný, vhodně kombinuje existující metody z oblastí plánování pohybu a z oblastí výpočetní geometrie. Student navrhl funkční vylepšení stávajících metod a podrobil je detailnímu testování. Metody jsou porovnány s vybranými state-of-the-art algoritmy s využitím benchmarkové knihovny OMPL. Student musel kromě implementace vlastních algoritmů ještě propojit všechny metody s knihovnou OMPL. Výsledky experimentů jsou detailně rozebrány a jsou diskutovány pozorované jevy.</p>	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	A - výborně
<p><i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i></p>	

Práce je psána anglicky, je srozumitelná a vhodně členěná do kapitol. Postup prací je navíc velmi pěkně ilustrován schémata, ve kterých jsou odkazy na příslušné kapitoly. V textu jsem nenalezl překlepy ani gramatické chyby, kvalita textu této bakalářské práce je na nebývale vysoké úrovni. Kromě výborně zpracovaného textu obsahuje práce spoustu pěkných obrázků, vizualizací výsledků algoritmů a grafů. Vše má jednotný styl. Příprava grafické, ale i textové části práce musela být časově hodně náročná, ale výsledkem je opravdu nadprůměrná práce.

#### **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.*

Práce obsahuje odkazy na 49 zdrojů, což je adekvátní rozsahu bakalářské práce, všechny citované práce jsou vědecké články. Výběr zdrojů je velmi dobrý, část related work obsahuje jak popis klasických metod, tak i nejnovějších algoritmů plánování pohybu. Student prokázal schopnost samostatně pracovat s vědeckou literaturou.

#### **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.*

Výsledkem práce je nový algoritmus pro plánování pohybu, jehož výkonnost je lepší než u některých state-of-the-art metod. Algoritmus byl studentem propojen s knihovnou OMPL a do budoucna počítáme s jejím zveřejněním ve formě open-source pluginu do OMPL a ve formě časopisecké publikace.

### **III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE**

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

Michal Minařík je výjimečně pracovitý a šikovný student. Kromě toho, že je vynikající programátor, je navíc zcela samostatný. Dokáže sám řešit celou řadu problémů a nechodí na konzultace s technickými drobnostmi. Zároveň je otevřený novým nápadům a nechá si poradit. Navržené řešení je opravdu fantastické s potenciálem pro vědeckou publikaci. Vedení Michala bylo pro mě radost a vždy jsem se na konzultace s ním těšil. Pokud by to bylo možné, navrhuji, aby komise zvážila navržení této práce na cenu za vynikající bakalářskou práci.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně.**

Datum: 05/31/21

Podpis:

## I. IDENTIFICATION DATA

<b>Thesis title:</b>	<b>Improving Sampling-Based Motion Planning Using Library of Trajectories</b>
<b>Author's name:</b>	<b>Michal Minařík</b>
<b>Type of thesis :</b>	bachelor
<b>Faculty/Institute:</b>	Faculty of Electrical Engineering (FEE)
<b>Department:</b>	Cybernetics
<b>Thesis reviewer:</b>	Dr.-Ing. Martin Rudorfer
<b>Reviewer's department:</b>	Research Fellow at School of Computer Science, University of Birmingham, UK

## II. EVALUATION OF INDIVIDUAL CRITERIA

<b>Assignment</b> <i>How demanding was the assigned project?</i>	<b>extraordinarily challenging</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Project requires strong theoretical background in two different areas: sampling-based motion planning including variants like using guiding paths and inhibited regions, and 3d shape matching including shape similarity measures</li> <li>- The developed method combines state-of-the-art approaches from both areas in a novel way</li> </ul>	

<b>Fulfilment of assignment</b> <i>How well does the thesis fulfil 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>	<b>fulfilled</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- All items have been addressed and completed</li> </ul>	

<b>Methodology</b> <i>Comment on the correctness of the approach and/or the solution methods.</i>	<b>correct</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- The approach is clear and reasonable, critical challenges to join sampling-based motion planning with guiding paths from similar shapes have been identified and solutions have been found</li> <li>- A more in-depth discussion about how shape transformations affect the motion planning would have been desirable. The used isometric transformations and geodesic distances are a great start but they include transformations that could arguably impair the suitability of the guiding path (e.g. reflections, limbs pointing in different directions).</li> <li>- The evaluation proves that the method works and demonstrates the usefulness of precomputed guiding paths compared to many other state-of-the-art methods. However, it fails to make a point that guiding paths from similar objects are beneficial compared to arbitrary guiding paths. Also, it seems that the guiding paths are for scaled-down versions of the objects – this again compromises the idea of shape similarity and the considered transformations (as scaling is not an isometric transformation). Instead, library should contain paths for original sizes – as intuitively the actual planning query can then much easier exploit the existing paths.</li> </ul>	

<b>Technical level</b> <i>Is the thesis technically sound? How well did the student employ expertise in the field of his/her field of study? Does the student explain clearly what he/she has done?</i>	<b>A - excellent.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- The thesis is technically sound.</li> <li>- Michal not only explains what he is doing but also clearly describes his requirements for the individual components and his arguments to choose one approach over another.</li> </ul>	

<b>Formal and language level, scope of thesis</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>	<b>A - excellent.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- The structure follows a logical line of thought and all relevant aspects are described in a sufficient extent, only with minor complaints: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Relevance of subsections 5.2 and 5.4 should have been pointed out more clearly.</li> <li>o Exact conditions regarding object sizes should have been stated more explicitly in the experiments section.</li> </ul> </li> </ul>	

- The language is very clear and Michal achieves to describe complex things in a very understandable manner. When necessary, well-designed figures have been used for illustration.
- He also gives formal description of his method, the equations are technically sound and make proper use of formalisms and notations.

### 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?*

- References to earlier work on the topic are adequate, the selected literature is up-to-date and relevant.
- Michal clearly points out his contribution over existing approaches and how he utilized state-of-the-art methods as components of his overall approach.
- Bibliographic citations meet the standards, although a minor complaint is that a few references are incomplete, showing only authors, title and year.

### 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.*

## 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. Pose questions that should be answered during the presentation and defense of the student's work.*

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

Michal submitted an excellent thesis in which he demonstrated that he is able to combine state-of-the-art methods from two previously unrelated fields to create a new approach of sampling-based motion planning exploiting guiding paths of similar shapes.

The document is on a consistently high level, it is well-written and very understandable and thus allows to focus on a purely scientific discussion of his approach.

Questions to be asked during the defense are the following:

- You chose isometric transformations and geodesic distances to determine the similarity of objects. Discuss the impact of included transformations on the motion planning problem. Which particular transformations are considered similar by this definition but could arguably have a strong negative effect on the suitability of the guiding object?
- In your thesis, you evaluated your approach against a variety of other motion planners. However, none of them used guiding paths or exploited object similarities. Please discuss how you would design an experiment to advance on the following questions:
  - o How does your approach compare to an approach using a guiding path for a) an arbitrary object or b) a scaled-down version of the query object?
  - o How can we assess the suitability of an existing guiding path for a particular query? Can we gain any insight over which transformations will worsen the performance and which others might facilitate the problem?

Date: **1.6.2021**

Signature: