

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Plánování trajektorií pro distribuovanou manipulaci pomocí magnetického pole</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Adam Uchytíl</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Jiří Zemánek, Ph.D.
<b>Pracoviště vedoucího práce:</b>	Katedra řídicí techniky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání hodnotím jako náročnější, protože bylo kromě znalostí získaných v průběhu dosavadního studia potřeba zvládnout i problematiku plánování a optimalizace trajektorií dynamických systémů, což by odpovídalo spíše magisterské úrovni.	

<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 a ačkoli byl cíl práce ambiciózní, tak se ho podařilo naplnit víc než dostatečně. Prostor pro budoucí zdokonalení vidím ještě v demonstraci navrženého řízení, které má potenciál pro vizuálně poutavé aplikace.	

<b>Aktivita a samostatnost při zpracování práce</b>	<b>A - výborně</b>
<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>	
Student na řešení pracoval aktivně a samostatně po celou dobu, kterou měl k dispozici. Práci měl dobře rozvrženou. Potřebné znalosti získával aktivně sám a se mnou konzultoval postup řešení, kdykoli to bylo potřeba. Celkově tedy prokázal, že je schopný samostatně řešit netriviální technický problém po teoretické i praktické stránce.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Student v práci demonstroval nejen zvládnutí odborných znalostí získaných při studiu, ale také schopnost nastudovat pokročilé metody optimálního řízení a zorientovat se v algoritmech numerické optimalizace. Důležitou částí byla také implementace řízení, kdy bylo třeba systém zprovoznit na platformě NVIDIA Jetson a zajistit tak rychlé vykonávání.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Práce je dobře strukturovaná. Sazba textu i rovnic stejně jako doplňující ilustrace jsou kvalitní a pečlivě provedené. Celkově je po grafické stránce práce velmi zdařilá. Pozitivně hodnotím také rozhodnutí napsat práci v anglickém jazyce, což ji zpřístupňuje širšímu publiku.	

**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.*

Během řešení student pracoval s řadou relevantních studijních materiálů. Jednalo se například o vědecké články popisující nasazení algoritmu RRT\*, předchozí absolventské práce vztahující se k projektu, také odborné monografie či online kurzy. Při jejich vyhledávání byl aktivní a samostatný. Převzaté prvky jsou v práci korektně označeny odkazem na zdroj.

**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.*

Výsledky práce více než naplnily původní očekávání a domnívám se, že by se daly v budoucnu zpracovat i do formy příspěvku na mezinárodní vědeckou konferenci.

**III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE**

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

Tato práce vyniká tím, že pro její řešení bylo třeba zvládnout relativně pokročilé metody plánování trajektorií a optimálního řízení dynamických systémů, což vyžadovalo vysokou míru samostatnosti a cílevědomosti. Po praktické stránce bylo třeba implementovat algoritmy s ohledem na rychlé a pravidelné vzorkování a provádět experimenty na laboratorní platformě. Celkově se tedy z mého pohledu jedná o náročnou a zdařilou práci, která demonstrovala teoretické i praktické dovednosti. Na bakalářské úrovni jde podle mého názoru o nadprůměrnou práci a rád bych ji tedy navrhl na cenu děkana.

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

Datum: 4.6.2022

Podpis:

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Plánování trajektorií pro distribuovanou manipulaci pomocí magnetického pole
<b>Jméno autora:</b>	Adam Uchytíl
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Vojtěch Vonásek, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Katedra kybernetiky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Práce kombinuje znalosti z plánování pohybu a teorie řízení pro použití na speciálním experimentálním HW, což je nad rámec předmětů vyučovaných v bakalářském programu.	

<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>	
I přesto, že v posledním bodu zadání je zmíněna aplikace „playing a song on a xylophone“, která není demonstrována, považuji zadání za splněné, neboť demonstrace pohybu jednoho a více objektů je experimentálně ověřena.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	vynikající
<i>Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Student nejprve navrhl lepší systém pro měření pozice objektů a porovnal ho s předchozím řešením. Dále formuloval úlohu plánování pohybu a k ní odpovídající úlohu optimalizace trajektorie. Řešení této optimalizační úlohy je výpočetně náročné a proto student nejprve vypočítal odhad optimální trajektorie s využitím robotických algoritmů plánování pohybu, konkrétně metody RRT*. Funkčnost systému je demonstrována řadou experimentů jak s jednou kuličkou, kde je hlavním kritériem vyhýbání se statickým překážkám, tak i v úloze současné manipulace více objektů. Postup řešení je naprosto v pořádku. Experimenty ukazují nejen že „to funguje“ ale je zde i detailní analýza trackování trajektorií a vliv některých optimalizačních parametrů. Experimentální část je také v pořádku.	

<b>Odborná úroveň</b>	B - velmi dobře
<i>Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Student využil znalosti z teorie řízení, návrhu regulátorů a musel se též seznámit s novou oblastí plánování pohybu a optimalizace. Odborně je práci na vysoké úrovni. Jednotlivé kroky řešení jsou stručně a pochopitelně popsány. Použitá matematická notace je konzistentní a zjednodušuje pochopení práce. Výsledky experimentů jsou detailně popsány a diskutovány.	
Jádrem práce je hledání optimálních trajektorií pro jeden nebo více manipulovaných objektů, výsledná trajektorie je pak vykonána a sledována zpětnovazebně. Optimalizace trajektorií je řešena ve dvou krocích: a) hledání odhadu řešení (algoritmem RRT*), a b) následná optimalizace přes nelineární programování. Přesto, že student detailně popisuje kroky, které k řešení vedly, algoritmus RRT* uveden není. Myslím, že je to škoda a že by dalšímu zájemci pomohlo ukázat, jak bylo RRT* použito. Součástí RRT* jsou parametry, které by bylo vhodné popsat v textu.	
V práci chybí uvedení výpočetních časů algoritmu RRT*. Jelikož je RRT* asymptoticky optimální, tj. k řešení postupně	

konverguje (v případě základního RRT\* navíc docela pomalu), je nutné správně zvolit čas zastavení, aby byla aktuálně dosažená trajektorie „dostatečně dobrá“. **Jaký byl zvolen čas výpočtu RRT\*, případně jaká jiná ukončovací podmínka byla použita?**

Objekty ne vždy přesně sledují naplánovanou trajektorii (viz. Obrázek 6.11). Je otázkou, jestli je nutné trajektorie poskytnuté RRT\* dále optimalizovat. **Nebylo by lepší věnovat větší čas výpočtu RRT\* (tj. dosáhnout tím lepších trajektorií) a ty následně rovnou vykonat?**

Zajímavým detailem je penalizace trajektorií vedoucích „slepými místy“, ve kterých je horší manipulace s objekty. **Tato penalizace (rovnice 4.7 a 4.8) je použita pouze při optimalizaci, nebo i v případě RRT\*? Pokud není použita v algoritmu RRT\*, považujete její použití v algoritmu RRT\* za proveditelné a přínosné?**

Experiment 6.4.1 ukazuje, že výše uvedená penalizace možná není důležitá a navíc je výpočetně náročná. V práci bohužel není diskutováno, **proč je sledování trajektorií bez penalizace lepší než sledování trajektorií, které byly vypočteny s uvažováním penalizace. Dokážete vysvětlit, čím to může být?**

**Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

A - výborně

*Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.*

Práce je psána anglicky na velmi vysoké úrovni, nenašel jsem žádnou chybu či překlep. Taktéž typografická úprava práce je vysoce nadprůměrná a obsahuje velmi pěkné ilustrace. Text je logicky členěn do kapitol, které na sebe dobře navazují. Práce se velmi dobře čte a určitě dobře poslouží dalším studentům pracujícím na tomto fascinujícím tématu.

**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 čerpá ze state-of-the-art publikací, které jsou řádně 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.*

Vložte komentář (nepovinné hodnocení).

**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.*

**Student odvedl vynikající práci, ve které kombinuje mnoho teoretických a implementačních dovedností. Dosažené výsledky jsou ověřeny na HW platformě, což jistě zabralo nemálo času. Práce mě nadchla a považuji ji za vysoce nadprůměrnou. Oceňuji schopnost studenta jasně formulovat své myšlenky a názorně vysvětlit co, proč a jak udělal.**

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

Datum: **05/30/22**

Podpis: