

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Reinforcement learning for manipulation of collections of objects using physical force fields
<b>Jméno autora:</b>	<b>Dominik Hodan</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Vedoucí práce:</b>	Doc. Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.
<b>Pracoviště vedoucího práce:</b>	Katedra řídicí techniky FEL ČVUT

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání bylo skutečně mimořádně náročné – jde o výzkumný problém náročností jistě splňující i požadavky na diplomovou či dokonce dizertační práci (samozřejmě to pak při větším požadovaném rozsahu i hloubce).	
<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>	
Cílem bylo prozkoumat problém, jehož přímočaré řešení bylo dopředu naprosto neznámé nejen pro studenta a jeho vedoucího, ale i pro mezinárodní odbornou komunitu. Je pak samozřejmé, že jakkoliv nejsou studentem dosažená řešení plně uspokojivá pro reálné použití, z pohledu bakalářské práce bylo zadání perfektně splněno. Práce představuje první a velmi užitečný krok pro další iterace.	
<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>	
Omezení v důsledku pandemie Covid-19 kladla na studentovu samostatnost ještě větší nároky než jindy a můžu prohlásit, že jeho schopnost samostatně systematicky pracovat je mimořádná. Zároveň využíval možnosti svou práci průběžně na dálku konzultovat. Stylem práce je pro mě vysloveně jedním z nejvíce inspirativních studentů, se kterými jsem mohl v poslední době spolupracovat.	
<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 prokazuje schopnost využívat znalosti a dovednosti získané ve formálním studiu, ale je i velmi iniciativní při nastudování si dalších potřebných znalostí, a to i z výzkumné literatury. Ke správnému použití jím z literatury použitých technik se sice sám nedokážu vyjádřit (nejsem specialistou na tyto metody posilovaného učení), ale sám jsem vnímal jako z inženýrského hlediska klíčovou spíše správnou formulaci optimalizačních problému (těch způsobů řešení pak může být více), a tady si student poradil velmi dobře.	
<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 psána mimořádně kvalitní angličtinou. Slovní zásoba studenta je zjevně vysoce nadstandardní. Jen velmi málo čtené chyby (například používání slova different v situacích, kde by se možná více hodilo another/other) prozrazují, že autor není rodilým mluvčím. Nepochybně je však pro něj angličtina plnohodnotným druhým jazykem a úroveň angličtiny mnoha profesionálních odborných prací se ke studentově ani neblíží. Práce je vysázena v systému LaTeX s dodržением všech základních konvencí. Snad jen některé popisky os grafů mohli být větší.	

**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.*

Svým zaměřením na strojové učení použité pro netradiční úlohu tato práce vyloženě vyžadovala studium nejnovější odborné literatury. Student prokazatelně zvládl zorientovat se v té obrovské masě literatury na toto téma a vyhledal si adekvátní zdroje, jakkoliv úplnost takového výběru (celkově 16 položek v seznamu literatury) jistě nelze proklamovat. Však v tom by se lišila diplomová či spíše dokonce dizertační práce.

**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.*

**III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE**

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

Předložená práce Dominika Hodana dokumentuje jeho pokusy o využití metod posilovaného strojového učení pro současnou manipulaci s více objekty ve fyzikálních silových polích, s možností simulačního (a nebyť omezení v důsledku pandemie Covid-19 i experimentálního) ověřování na jedné konkrétní výzkumné platformě pro planární manipulaci pomocí magnetického pole.

Problém je nepochybně velmi náročný pro studenta bakalářského studia, protože vyžadoval současně velký přehled i dokonalé zvládnutí konceptů posilovaného strojového učení, včetně těch teprve nedávno publikovaných. Jakkoliv dosažené výsledky zatím nejsou z hlediska praktického použití uspokojivé – problém se ukázal náročnější, než bylo původně očekáváno, a časová dotace na bakalářskou práci byla omezená. Vždyť jádro zadaného problému – volbu kritériálních funkcí pro některé ze zadaných manipulačních problémů (řízení rozložení populace objektů, promíchávání dvou populací objektů) – začíná student diskutovat až v sekci 4.4 na straně 38. Předchozí kroky, tedy tvorbu simulátoru i zkoušení metod posilovaného učení na jednodušších úlohách, které už jsou dnes vyřešeny jinými způsoby zpětnovazebního řízení, zjevně přeskočit nebylo možné. Přesto však práce Dominika Hodana představuje dobrý začátek pro další zkoumání.

Při obhajobě bakalářské práce bych rád místo popisu technikalit použitých metod spíše od studenta slyšel právě detailnější diskuzi volby kritériálních funkcí pro jednotlivé řešené úlohy, a jaké by mohly být alternativy. Dále bych pak rád znal doporučení na pokračování výzkumu v této oblasti. Co budou největší výzvy?

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

Datum: 12.6.2020

Podpis:

## POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

### I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Reinforcement learning for manipulation of collections of objects using physical force fields
Jméno autora:	Dominik Hodan
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Mgr. Ing. Petr Švarný PhD
Pracoviště oponenta práce:	Katedra kybernetiky

### II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
I když se zadání zakládá na dřívějším výzkumu z katedry, zadání požaduje, z mého pohledu, netriviální rozšíření této práce. Zároveň však studentovi nabízí možnost splnit pouze jednu z kontrolních úloh.	

<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>	
Úkolem bylo vyřešit alespoň jednu ze tří kontrolních úloh. Student z nich prozkoumal dvě a navíc se snažil ustanovit základ pro možnost porovnání naměřených hodnot. Taktéž pro účely práce vytvořil simulátor platformy MagMan. I když výkon posilovaného učení v daných úlohách je neuspokojivý, domnívám se, že došlo ke splnění zadání.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>vynikající</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Práce postupuje od seznámení se s problematikou kontroly platformy MagMan, přes základní ovládání position control a coil control, které mohou sloužit jako „ground truth“ zbytku práce, až po aplikaci posilovaného učení v zadaných úlohách – distribution shaping a feedback-controlled mixing. Posilované učení je vhodným nástrojem vzhledem k charakteru úlohy řízení na platformě MagMan. Za dobrou volbu považuji také upřednostnění simulovaného prostředí pro rychlejší iteraci.	

<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>	
Práce demonstruje pochopení jak metod posilovaného učení, tak fungování platformy MagMan (předvedena zejména vývojem funkčního simulačního prostředí). Míra znalostí demonstrovaných v práci ukazuje na využití znalostí z literatury a diskuze kolem aspektů implementace (např. str. 39 prezentující nevhodné reward funkce nebo ) ukazuje uplatnění i zkušeností z praktické části bakalářské práce.	
Bohužel práce v některých oddílech působí uspěchaně. Např. vysvětlení rozhodnutí bývají příliš krátký, viz proč Kolmogorov-Smirnovův test je podáno jen obrázkem bez podrobnějšího komentáře. Není potom z práce samotné jasné, jak student látku interpretoval. Nápodobně úvodní diskuze v 4.1.1 není jasně provázána se zbytkem textu vzhledem k tomu, že LSTM ani konvoluční sítě nejsou v práci používány. Není jasné, proč jsou tyto metody popisovány až v implementační části textu a ne v úvodu druhé kapitoly, kde by byly následovány vysvětlením proč je posilované učení vhodnou volbou.	

<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>	
V práci se vyskytuje několik málo překlepů (např.: str. 22 „currently“ místo „Currently“, str. 35 „policies“ místo „policies“), avšak nejedná se o nijak vlivné chyby. Jediná pro mě nesrozumitelná věta je na str. 33, kde není jasné co je druhá část ze	

## POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

vstupů „input to the network would then consist of two parts“. Avšak, je třeba poznamenat, že práce je v anglickém jazyce a na úrovni srovnatelné s akademickou úrovní angličtiny v odborných publikacích.

### Výběr zdrojů, korektnost citací

**B - velmi 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.

Potřebné zdroje jsou citovány a je u nich zachována jednotná citační úprava.

Avšak v některých částech textu není jasné, zda se jedná o práci studenta nebo o citovaný poznatek, viz 4.1 Challenges, kde není jediná citace a není tedy jasné, odkud se vzal např. pojem a postup „padding“, který však ve strojovém učení (konvoluci) je definován jinak než jej zde podává autor.

Také se domnívám, že je dobrým zvykem citovat pokud možno práce v jejich publikované podobě. Minimálně u práce [15] existuje i publikovaný článek na NIPS konferenci z roku 2017.

### 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.

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

Předložené řešení se mi zdá, i přes nepříznivé výsledky, jako dobrý základ pro další výzkum použití metod strojového, resp. posilovaného, učení pro řízení na platformě MagMan. Taktéž implementace simulačního prostředí je přínos práce pro další výzkum řízení na této platformě.

Práce však postrádala širší diskuzi nad řešeními a rozhodnutími, organizace jejích částí nebyla úplně jasná a také chybělo přesné citování zdrojů v některých oddílech.

#### Otázky:

Pro Coil control je nyní užíváno jaké řešení (viz zanechání dalších pokusů str. 36), mohl byste ho popsat? Myslíte, že pokud by bylo třeba zlepšit přesnost, tak by posilovací učení bylo správnou cestou?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Datum: 2020/06/02

Podpis: