

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Řídicí systém pro robota SK80 využívající posilované učení
<b>Jméno autora:</b>	Dominik Hodan
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Křištof Pučejdl
<b>Pracoviště vedoucího práce:</b>	Katedra řídicí techniky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání této práce nepochybně patří mezi náročnější už z povahy řešeného problému. Použití posilovaného učení k řízení rychlého dynamického systému totiž stále patří mezi spíše výzkumné metody. Náročnost zde ještě zvyšuje požadavek na přizpůsobení řídicí architektury tak, aby mohla fungovat na vestavěném počítači v robota SK80. Nezamýšlenou komplikací pro Dominika navíc byla nutnost významným způsobem přepracovat a vylepšit existující matematické modely, které se v mnoha ohledech ukázaly jako nedostatečné.	

<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>	
Dominik ve své práci splňuje bezvýhradně a důkladně všech pět bodů zadání.	

<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 samostatné tvůrčí práce.</i>	
Dominik pracoval metodicky během celého semestru a jeho postup jsme pravidelně konzultovali. V aspektech práce specifických pro doménu posilovaného učení jsem se během konzultací pravidelně pouze nechával poučit. Na začátku tohoto semestru jsem měl pouze základní porozumění problematice, ale Dominik mi ho významně rozšířil, zatímco sám čerpal ze svých předešlých zkušeností ale i z aktivní rešerše, ve které pokračoval po celou dobu práce řešení problémů a hledání možných zlepšení.	

<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>	
Po této stránce se práci nedá nic vytknout. Naopak mě až zaráží, jak čtivá práce i přes svou vysokou odbornou úroveň je.	

<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 psaná gramaticky takřka bezchybnou angličtinou, je přehledně členěná a opravdu nezvykle čtivá, a to i v poměrně hutných teoretických pasážích. Rozsah odpovídá obsahu, grafika, rovnice i další typografické prvky jsou na vynikající 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. 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.*

Formálně jsou citace v pořádku, za pochvalu navíc stojí Dominikova schopnost najít relevantní zdroje. Jako čtenář zároveň velmi oceňuji, že práce je samostatným celkem a uvedené zdroje jsou referencovány ve srozumitelném kontextu a jejich studium není nutné pro pochopení obsahu práce.

**III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE**

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

Výsledkem Dominikovy práce je funkční řešení pro řízení robota SK80, které zvládá plně nahradit (a v určitých aspektech překonává) dosavadní LQ regulátor. Vedlejšími produkty jsou díky Dominikově pečlivosti velmi dobře popsané matematické modely a simulační prostředí, které slibuje výrazně pohodlnější používání, než tomu bylo u pokusů předešlých, trpících na nedostatečnou dokumentaci a skryté technické nedostatky.

Mimo zjevné odborné kvality a pracovitost proto obzvlášť hodnotím Dominikovu přirozenou tendenci problémy nemaskovat, ale naopak jim porozumět a v lepším případě je vyřešit, a pokud se to nepodaří, tak je alespoň jasně zdokumentovat. Samotný text Dominikovy diplomky pak slouží jako výborná reference pro navazující práci.

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

Datum: 20.6.2023

Podpis:

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Řídicí systém pro robota SK80 využívající posilované učení</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Dominik Hodan</b>
<b>Typ práce:</b>	magisterská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Jan Filip
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	ISEE inc., 501 Mass Ave, Cambridge, Massachusetts

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Práce se zabývá návrhem řídicího systému pro robota SK80 využívající posilované učení. Zadání hodnotím jako mimořádně náročné, protože jeho úspěšné splnění vyžaduje nejen silné znalosti z oborů studia, ale i porozumění a samostatnost při práci se současnou odbornou literaturou, silné inženýrské dovednosti pro nasazení dostupných metod a knihoven, jejich úpravy a rozšíření pro potřeby vlastního řešení, a v neposlední řadě i značné úsilí pro nasazení na fyzickém robotu a experimentální ověření výsledného systému.	
<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 – návrh řídicího systému pomocí posilovaného učení pro lineární dynamický i 3D model robotu z tuhých těles, ověření obou řídicích systémů jak v simulaci, tak i na fyzickém robotu, diskuze dosažených výsledků, srovnání s předchozím řešením LQR řízení a úvod do problematiky certifikace řídicích systémů založených na hlubokém učení z regulatorního hlediska, který byl ilustrován na příkladu zkoumaného robotu. Oceňuji, že diplomant vyvinul obě alternativní řešení řídicího systému pomocí posilovaného učení, což umožnilo jejich porovnání.	
<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolené postupy jsou správné a systematicky zdokumentované. Diplomant své volby zakládá na kritickém zkoumání současné odborné literatury k tématu. Dostupné metody si nejprve ověřuje a porovnává na jednodušších modelových příkladech. Výsledky navrženého řídicího systému jsou detailně vysvětleny. Oceňuji, že jsou zdokumentovány i získané zkušenosti, které by při opakovaném řešení problému vedly k vylepšení postupů. Práce tak bude jistě cenným zdrojem pro navazující nebo podobně zaměřené práce.	
<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>	
Práce má z inženýrského hlediska výbornou úroveň, demonstruje schopnosti diplomanta nastudovat si současně poznání ke zkoumané problematice, osvojit si pokročilé metody a použít je k vyřešení komplexního inženýrského problému. Oceňuji rovněž přesah práce k interpretaci fungování řídicího systému založeného na hlubokém učení.	
<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>	
Po formální a jazykové stránce má práce výbornou úroveň. Sazba textu, matematických vzorců, obrázků i grafů je velmi úhledná, splňuje vysoké typografické standardy a je zjevné, že přípravě dokumentu byla věnována náležitá péče i čas. Práce je psaná v anglickém jazyce na velmi dobré úrovni. Text je čtivý, přehledně členěný, s minimem překlepů či nepřesností.	

**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.*

Zdroje, které diplomová práce využívá, jsou pečlivě vybrané a reflektují aktuální stav poznání. Text práce je doplněn rozsáhlou bibliografií čítající 61 citovaných pramenů. Citace jsou úplné a v souladu s normami. Vlastní přínosy práce jsou v textu jasně vymezeny. Předchozí práce, na které diplomant navazuje, jsou důsledně odkazovány a práce z nich poskytuje pouze nezbytný přehled informací, což umožňuje její samostatné čtení. Oceňuji, že mnohé zdroje jsou doplněny i odkazy pro snadný elektronický přístup.

**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.*

Diplomant předložil práci, která je po všech stránkách velmi kvalitní. Práce si klade za cíl navrhnout řídicí systém pohybu pro nestabilní dynamický systém pomocí současných metod posilovaného učení a ověřit jeho funkčnost na fyzickém robotu ve srovnání s klasickými metodami řízení. Toto ambiciózní zadání, které vyžaduje zvládnutí široké škály disciplín, bylo splněno v plném rozsahu a funkčnost navrženého systému byla doložena. Dosažené výsledky byly srovnány s předchozím řešením, pečlivě interpretovány a detailně zdokumentovány. Tato práce je vynikajícím příkladem samostatného inženýrského úsilí a ukázkového provedení magisterské závěrečné práce.

**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.*

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně** a doporučuji ji komisi k návrhu na ocenění děkana za vynikající diplomovou práci.

**Otázky:**

- 1) Jak byste zhodnotil současné možnosti a případná omezení pro další vylepšení řídicího systému učení se přímo na fyzickém robotu, nebo na experimentálních datech z něj sesbíraných?
- 2) Lze lineární dynamický model pro učení rozšířit tak, aby se s jeho pomocí dosáhlo požadovaného naklánění soustavy v zatáčkách?
- 3) Jaké úpravy byste doporučil, aby mohl být na fyzickém robotu úspěšně nasazen i složitější systém trénovaný na 3D modelu robotu? Je tento složitější přístup nutný, aby se robot naučil například skákat nebo překonávat schody?
- 4) Jaké vidíte další možnosti rozvoje pro řízení robotu SK80 pomocí posilovaného učení?

Datum: 20. 6. 2023

Podpis: