

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Transfer learning v přenosu zkušeností s terénem mezi rozdílnými roboty
Jméno autora:	Josef Zelinka
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra kybernetiky
Vedoucí práce:	Ing. Miloš Prágr
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra počítačů

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání hodnotím jako zvláště náročné, neboť student musel ovládnout širokou řadu technologií a oblastí, jmenovitě řízení dvou rozdílných kráčejících robotů, middleware ROS, state-of-the-art pro průchodnost terénem, neuronové sítě, a transfer learning.	
<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>	
Zadání považuji za splněné.	
<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 samostatně pracoval na zadané práci, kterou průběžně konzultoval.	
<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 zavádí problém přenosu terénních znalostí mezi modely a využívá standardní metody a přístupy typické v robotické praxi a state-of-the-art. Jednotlivé prediktory průchodnosti vychází z metody prezentované v textu [1] publikovaném ve sborníku konference. Student byl prvním autorem tohoto textu, který se zabývá odlišnou metodou přenosu zkušeností mezi roboty.	
<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>	
Práci není obtížné číst, neobsahuje žádné význačné formální chyby, a organizace textu je standardní. Jazyková a stylistická úroveň textu by mohla být vylepšena, ale odpovídá bakalářské práci.	
<b>Výběr zdrojů, korektnost citací</b>	<b>A - výborně</b>
<i>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</i>	

*zvyklostmi a normami.*

Práce odkazuje na použité neoriginální metody. Text obsahuje podrobnější přehled state-of-the-art odhadu průchodnosti, a krátký přehled relevantních přístupů strojového učení s konkrétním zaměřením na neuronové sítě.

#### **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 A NÁVRH KLASIFIKACE**

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

Práce je motivovaná přenosem zkušeností robotu s terénem, kde je model naučený pro jiný robot použit k inicializaci modelu pro cílový robot. Z technického hlediska je práce na dobré úrovni a ukazuje na schopnost studenta pracovat s širokým rozsahem metod a technologií. Práce vychází ze state-of-the-art metod, a odkazuje na převzaté metody včetně předchozí práce autora [1]. Výsledky prezentované v práci ukazují nejen zrychlení učení modelu, ale i obecně lepší predikce průchodnosti.

[1] J. Zelinka, M. Prágr, R. Szadkowski, J. Bayer, and J. Faigl. Traversability Transfer Learning Between Robots with Different Cost Assessment Policies. In 2021 International Conference on Modelling and Simulation for Autonomous Systems, pages 333–344. Springer, Cham, 2022

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

Datum: 26/05/2022

Podpis:

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Transfer learning v přenosu zkušeností s terénem mezi rozdílnými roboty
Jméno autora:	Zelinka Josef
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra kybernetiky
Oponent práce:	Mgr. Martin Pecka, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Katedra kybernetiky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání vyžaduje nejen implementaci transfer learningu, ale i vytvoření vhodných datasetů a ozkoušení na reálných robotech.	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
<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>	
<p>1) Sekce s průzkumem stavu vědění v relevantních oblastech je mimořádně kvalitní.</p> <p>2) Studentovi se podařilo navrhnout, implementovat a otestovat funkční metodu transfer learningu pro přenos zkušeností mezi roboty s rozdílnou morfologií a schopnostmi vnímání. V příloze bakalářské práce ovšem není žádný software, který v rámci této implementace vznikl.</p> <p>3) Student v rámci práce používal datasety zahrnující lokální výškové mapy a informace o snadnosti průjezdu některými částmi terénu. Očekával bych ale, že pokud bylo v zadání vytvořit dataset, pak se práce měla vytvořenému datasetu věnovat alespoň v jedné kapitole a nějak podrobněji ho popsat. A ideálně by dataset měl být i zveřejněn.</p> <p>4) Úkol v zadání je poněkud vágní. Studentovi se povedlo vytvořit vylepšené modely odhadu traverzability, které by nejspíše mohly být použity na reálných robotech. Ale v práci není žádná zmínka o tom, jestli výsledné neuronové sítě zpracovávají data dostatečně rychle na to, aby šly použít v real-time nasazení. Práce ani nezmiňuje žádný experiment, kde by naučené modely přímo sloužily pro odhad obtížnosti průjezdu terénem při plánování trajektorií.</p>	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
<p>Zvolený přístup problém dle experimentálního ověření řeší. Na studentovi stačí menší dataset pro naučení vcelku kvalitního regresoru, což byl určitě hlavní cíl. Je ale zjevné, že vybraná metoda má svá omezení, která ale v práci nejsou diskutována (např. přenos modelu traverzability z letadla na hexapoda by asi ničemu úplně nepomohl). Také není jasné, proč by metoda měla fungovat, pokud odhad traverzability učitele bude odhadovat veličinu zcela nezávislou na tom, co se snaží naučit student. Toto je třeba lépe vysvětlit, aby čtenáři práce bylo zřejmé, kdy má použití zvolené metody smysl.</p> <p>Z kapitoly 6 plyne, že při přenosu spot→scarab nebyla metoda schopná využít přidanou modalitu v podobě RGB vstupu – ta naopak výsledku ještě uškodila. Vyvstává tedy otázka, nakolik je metoda použitelná pro roboty s opravdu rozdílnými modalitami vnímání. Je dost možné, že jediná přidaná konvoluční vrstva zajišťující adaptaci naučené sítě nemusí být dostatečná. V literatuře se často vyskytuje postup, kdy se část naučené neuronové sítě odřízne a student použije pouze část. Tato varianta v práci není diskutována.</p> <p>Žádný z popisů průběhu učení neuronových sítí v kapitole 6 se nezmiňuje o použití validačních dat. Pokud opravdu nebyla použita, jde o zásadní nepochopení toho, jak se mají hluboké neuronové sítě učit. Student v několika místech dokonce popisuje, že se sítě při více epizodách učení přeučovaly – to je celkem jasný důsledek nepoužití validačních dat. Ukončovat učení pouze podle vývoje trénovací chyby není vhodné.</p>	

Student v práci nikde nezmiňuje, jak by měl daný algoritmus řešit prakticky nevyhnutelné případy, kdy je lokální mapa kolem robota nekompletní. Například hned po nastartování má Scarab měření pouze v úzkém kuželu před sebou a místa v mapě mimo tento kužel nemají žádný údaj o výšce nebo barvě.

Autor v úvodu práce uvádí, že modely traverzability jsou tak komplikované, že je nelze vyjádřit ručně vytvořenou funkcí. To určitě platí o  $c_v$ , ale u modelů  $c_s$ ,  $c_d$  a  $c_a$  se zdá, že by nemělo být těžké navrhnout prostý kinematicko-geometrický model, který by úhly natočení robota spočítal.

Také není zřejmé, proč se dané modely ceny transportu počítají na 2.5D mapě. Vhodnější by byla 3.5D mapa zohledňující vodorovné souřadnice, úhel natočení robota podle svislé osy, a výšku terénu. Některé uvedené modely zjevně budou záviset na tom, jakým směrem robot danou mapu projíždí. 2.5D reprezentace ale zjevně vede na to, že průjezd stejného terénu v různých směrech je stejně nákladný.

V experimentální sekci není jasné, proč byl počet epizod učení omezen na 300. V mobilní robotice jsou trénovací epizody ta „levnější část“ - komplikovanější bývá vytvoření kvalitních datasetů. Pokud by metody měly dostatek epizod (až do okamžiku, kdy začne růst validační chyba), mohlo by porovnání dopadnout i výrazně jinak.

### Odborná úroveň

B - velmi dobře

Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Až na nepoužití validačních dat při učení neuronových sítí (viz výše) je práce kvalitní a vhodně vychází z dostupné literatury. Kapitola 2 shrnující stav poznání je velmi kvalitně napsaná.

Definice  $c_d$  v kapitole 5.1 není pochopitelná. Zmiňuje úhel gamma, který ale není nikde popsán.

V tabulkách s porovnáním RMSE pro různé přenosy chybí pro úplnost ještě údaj, jaké by bylo RMSE přímé metody, kdyby se učila na stejně velkém datasetu jako síť poskytnutá učitelem - v podstatě nějaký baseline, podle kterého by se dalo porovnat, zda má smysl (případně jak velký) tuto metodu vůbec používat.

### Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

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

Úroveň jazyka v kapitolách 1-3 je velmi dobrá. V kapitolách následujících se už ale objevují překlepy, chybějící interpunkce a gramatické chyby (ale není jich mnoho). Po formální stránce je práce v pořádku. U tabulek s číselnými výsledky by bylo dobré ještě zvýraznit ty výsledky, které jsou pro danou kategorii nejlepší.

### 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 odkazuje na velké množství relevantní literatury. Odkazy jsou technicky správně provedené.

### 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.

Výsledek práce může být i v praxi užitečný, byť je potřeba věnovat více úsilí poznání toho, kdy má smysl vyvinutou metodu používat, a kdy nepovede ke zlepšení výsledků. Snížení nároků na velikost datasetů, pokud už je dostupný kvalitní model naučený pro jiného robota, je rozhodně přínosné.

### 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.*

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm

#### Otázky k obhajobě:

1. Byla při učení neuronových sítí hlídána validační chyba? Pokud ano, v práci to není zmíněno.
2. Dá se nějak dostat k software a datasetům vytvořeným v rámci práce?
3. Jaké jsou limity metody – dá se nějak dopředu poznat, pro jaké typy přenosu nebude mít smysl ji používat?
4. Jak se řeší „bílá místa“ v mapě? (tj. místa, kde chybí měření)
5. Proč by mělo být těžké vytvořit přímý výpočetní model chyb  $c_s$ ,  $c_d$  a  $c_a$ ?

Datum:

Podpis: