

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Human-inspired Robot Hands Control
Jméno autora:	Filip Žemlička
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	prof. Ing. Jan Faigl, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra počítačů

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Hlavní motivací zadání práce je zprovoznění robotické ruky RH6D a RH8D, které se staly nedávnou akvizicí laboratoře. Přestože jsou založené na námi používaném protokolu servomotorů Robotis Dynamixel 2.0, v laboratoři jsme s nimi neměli žádnou zkušenost a bylo nutné začít v podstatě od nuly. Problematiku řízení artikulovaných robotických částí s taktilní sensorickou zpětnou vazbou považuji nad rámec standardních předmětů. Proto považuji zadání za náročnější.	

Splnění zadání	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>	
Zadání obsahuje pokyny a očekávaný postup, který se v průběhu řešení ukázal jako méně vhodný vzhledem k počátečním komplikacím s rozchozením hardware a zprovozněním vyčítání sensorů. Během řešení jsme tak se studentem diskutovali vhodnost řešení problematiky vizualizace a simulace robotické ruky, která se ukázala pro zvolené demonstrátory znakové řeči a uchopování měkkých předmětů, jako velmi náročná z pohledu dostatečně věrohodné simulace z důvodů otevřeného kinematického řetězce, ovládání táhly a pružinami, nebo příliš triviální bez možnosti použití pro realizaci demonstrátorů. Student v textu práce zdůvodňuje, proč nebyla simulace realizována. Argumentaci považuji dostatečně zdůvodňující.	

Aktivita a samostatnost při zpracování práce	B - velmi dobře
<i>Posudte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posudte schopnost studenta samostatně tvůrčí práce.</i>	
Student pracoval na tématu samostatně s pravidelnými konzultacemi, které umožňovali směřování práce v zásadních bodech řešení. Přesto v některých aspektech bych považoval za vhodnější častější diskusi a zpětnou vazbu, zejména ve smyslu přepracování některých částí textu. Podobně volba vhodného prostředí psaní samotného textu se ukázala, jako do nějaké míry limitující a zpomalující (overleaf vs. plné lokální prostředí). Zde by mi přišla vhodnější vyšší míra samostatnosti v přípravě prostředí pro psaní textu práce.	

Odborná úroveň	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>	
Práci lze charakterizovat třemi částmi, které vycházejí ze zadání a to rešerší, technickým řešením a demonstrátory. Rešerše čerpá v zásadě ze čtyř hlavních zdrojů a přehledového článku odkazovaného jako [8]. Rešeršní část je svým rozsahem spíše přehledová, nicméně odpovídá zadání a student zmiňuje, který přístup zvolil a proč. Technickou část považuji za zdařilou, velmi dobře ilustrující hlavní rysy ovládání ruky. Text tak může být použit jako zdroj pro navazující práce. Popis demonstrátorů je stručnější, přesto odpovídá očekávání zadání práce. Zvolené řešení znakové řeči považuji za pragmatické a s ohledem na časovou dotaci řešení bakalářské práce za adekvátní, zejména s ohledem na doplnění o rozpoznávání znakové řeči a uchopování měkkých objektů, kde student zvolil reaktivní řízení s vyhodnocením taktilní zpětné vazby.	

**Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

**B - velmi dobře**

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

Během diskuse zadání práce jsem studenta motivoval zkusit napsat text raději v ne úplně skvělé angličtině než v češtině a studenta jsem povzbuzoval použitím dostupných nástrojů pro kontrolu gramatiky a překladem. Výsledný text považuji za čtivý a srozumitelný. Přestože charakteristika RH8D a RH6D působí až marketingovým dojmem, nepovažuji text za urážlivý. Nástroje kontroly gramatiky jsou dostupné téměř dvě dekády podobně jako nástroje kontroly pravopisu. Použití jazykových modelů student v textu práce nezmiňuje, nicméně stěžejní strukturu textu jsme společně několikrát iterovali v rámci pravidelných konzultací, proto z pohledu Metodického pokynu ČVUT\_MP\_2023\_05\_V02 (CVUT00001676/2024) nepovažuji za zásadní uvedení příslušného sw byl-li vůbec použit, podobně, jako není zvykem uvádět mechanismy hledání zdrojů, návrhy na úpravu textu a reformulace od školitele nebo externího korektora.

**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.*

Přestože bych osobně uvítal širší rešerši, charakter práce a její cíl nevyžaduje další zdroje.

**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.*

Práce je spíše technického charakteru, což se do nějaké míry ukázalo jako důsledek zprovoznění nového hardware, který zvláště v případě minimální předchozí zkušenosti bývá časově náročný úkol. Přestože jsem na začátku řešení projektu měl přání, aby práce směřovala spíše k teoretičtějším charakteru a použití některých z pokročilých plánovacích metod, je hlavním výstupem práce zprovoznění robotické ruky a vytvoření dvou demonstrátorů, které mohou sloužit jako základ a také motivace navazujících prací.

Jelikož cílem práce nebylo realizovat co možná nejvěrnější vyjádření znakové řeči, považuji validaci použitím dostupných nástrojů rozpoznávání gest znakové řeči za dostatečnou. Nízká úspěšnost rozpoznání gest bohužel neumožňuje přijmout závěr, zdali jsou implementovaná gesta znakového jazyka dostačující pro porozumění nebo je robotická ruka natolik odlišná od lidské, že naučený model rozpoznávání je nedostatečný.

**III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE**

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

Student v práci prokázal samostatného nastudování problematiky, návrh vlastního technického řešení ovládání robotické ruky v demonstračních scénářích znakového jazyka a uchopování měkkých předmětů a prezentace dosažených výsledků a zvolených postupů ve vlastním textu bakalářské práce.

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

Datum: 7.6.2024

Podpis:

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Ovládání robotických rukou inspirované člověkem
Jméno autora:	Filip Žemlička
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Ing. Vojtěch Vonásek, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Katedra kybernetiky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání vyžaduje práci se specializovaným hardwarem a tvorbu simulačních modelů, což je nad rámec běžného učiva v bakalářském programu.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s většími výhradami</b>
<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>	
Úkol zadání „Develop visualization and simulation platform using available Unified Robotics Description Format (URDF) [5] model of the hands and simulation environment [6]“ nebyl splněn.	
Student to zdůvodňuje takto: „Additionally, the thesis discusses why creating a visual simulation environment for the RH8D model is impractical. The main argument is that the RH8D hand has 19 degrees of freedom but only 8 actuators with feedback capability, creating an "open system" where each degree of freedom is not equipped with required feedback.“	
Menší počet aktuátorů než stupňů volnosti není důvod simulaci nevytvářet. Otázkou je, pro jaký účel (kromě vizualizace) měla být simulace určena, např. jak přesné mělo být měření sil nebo jak přesných pohybů ruky (oproti reálnému HW) mělo být dosaženo. V práci chybí mechanické schéma ruky, kde by bylo vidět jakým způsobem jsou síly z aktuátorů převedeny na pohyb jednotlivých kloubů. Chybí schéma (3D model) alespoň několika částí ruky. Tvorba simulačního modelu ruky pro systém CoppeliaSim určitě není triviální. V práci chybí rozbor tohoto problému (tj. jak simulace v CoppeliaSim funguje, jaké typy modelů je možné vytvářet) a následná argumentace, proč je (věrný) model ruky těžké vytvořit.	
Další bod zadání „Prospect the developed system in hand gesture recognition [8] and grasping soft objects [9].“, zejména část „grasping soft object“ je v práci řešena jako uchycení (resp. pouze držení?) cibule a banánu. Oba objekty jsou relativně tuhé (vůči schopnostem ruky) a spíše je považuji za pevná, nikoliv měkká tělesa.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>částečně vhodný</b>
<i>Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Práce popisuje možnosti robotické ruky a komunikační protokol pro serva Dynamixel a pro čtení senzorických dat. Softwarové ovládání ruky je založeno na práci doktoranda J. Kubíka: „The based implementation was initially developed by Jiří Kubík as a primary example program with the essential functions, such as set_pose to set the positions of the fingers and	

palm.“ V bakalářské práci chybí jasný popis toho, co student sám vytvořil. Implementoval student protokol pro komunikaci se servy Dynamixel (sekce 3.3 a 3.5), implementoval načítání dat ze senzorů (sekce 3.2)? Nebo byly tyto komponenty již součástí práce jiného studenta?

Dále je diskutováno využití ruky pro tvorbu znakové řeči (kapitola 4). Student ručně nastavil hodnoty serv tak, aby bylo možné tvořit jednotlivá písmena. Ruka pak byla snímána kamerou a znaky rozpoznány knihovnou [21], a byla vyhodnocena úspěšnost (Tabulka 5.1). Úspěšnost je poměrně malá, otázkou je, jestli je to vina knihovny pro detekci znakové řeči [21], nebo je na vině nevhodné nastavení konfigurace ruky. V práci chybí ukázky (obrázky) konfigurací ruky pro jednotlivé znaky. Na Obrázku 5.3 by bylo dobré ukázat i fotku ruky a fotku robotické ruky, ne jen detekované hrany v obraze.

V kapitola 6 je popsáno uchopování předmětů: „The process of the fingers closing is gradual: as soon as the fingers enclose an object, the tactile sensors begin to detect contact and subsequently measure the force applied to the object. The force is compared with a predefined desired grip strength value.“

Není jasné, jak student získal „predefined desired grip strength value“. Taktéž není vyhodnocena úspěšnost uchopování. Tato kapitola pouze ukazuje, že ruka může držet nějaký předmět. Je schopnost ruky uchopit/držet předmět způsobena výhradně navrženým postupem, nebo může ruka uchopit/držet předmět i např. tak, že dojde k úplnému sevření všech prstů tak, až je vyvinuta maximální síla? (což u použitých objektů nebude vadit)? Taktéž mohl student porovnat, jestli předdefinované síly pro uchopení cibule lze použít pro uchopení banánu atd. Student též mohl demonstrovat uchopení měkkých předmětů.

#### **Odborná úroveň**

### **D - uspokojivě**

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

Student se více či méně popral s většinou úloh zadání. Jím navrhované řešení pro tvorbu znakové řeči a pro uchopování předmětů jsou dost jednoduchá a závisí na předem zvolených hodnotách (např. předdefinované síly pro uchopování). Student nepopisuje, jak k těmto skrytým parametrům přišel. Je otázkou, jestli práce může sloužit dalším uživatelům ruky, například pro navazující studentské práce. Bude navržený systém fungovat i pro další ruku (stejný typ, stejného výrobce), nebo lze očekávat, že se vyrobené ruky mírně liší a bude potřeba provést nějakou formu kalibrace? Co je potřeba kalibrovat a jak? To se v práci nediskutuje.

Práce často popisuje témata relativně povrchně a obecně, a chybí detailnější popis metod. Například kapitola 2 se zabývá metodami řízení robotické ruky. Úloha není správně formulována, není jasné co je cílem řízení a v čem je řízení robotické ruky specifické (oproti jiným systémům). Kapitola 2 působí tak, že byla z velké části generována systémem ChatGPT (domněnka oponenta, nelze dokázat). Pokud by tato kapitola byla vynechána, práci to vůbec neuškodí.

Podobně povrchně je popsána úloha tvorby znakové řeči: „The focus here is not only on the detailed execution of hand control within a task that demonstrates sign language using the RH8D robotic hand but also on the implementation of a **dynamic grip control system that adapts to real-time sensory feedback**. It includes **configuring the servomotors to precisely replicate sign language symbols**, validating the accuracy of these configurations through gesture recognition technology, and **ensuring the robotic hand's movements are both accurate and reliable**.“

Tučně vyznačené pasáže práce nepopisuje, nebo jen povrchně a rozhodně ne tak, aby čtenář pochopil jak těchto bodů student dosáhl.

#### **Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

### **C - dobře**

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

Práce je psána anglicky na dobré úrovni. Slabinou textu je jeho přílišná povrchnost, obecný popis obecných témat bez uvádění technických detailů. V práci chybí důležité obrázky (např. ukázky konfigurace ruky pro všechna písmena znakové

řeči, ukázky průběhu signálů při změně písmen, mechanické schéma ruky a aktuátorů).

### 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. 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.

Práce cituje relevantní zdroje (jak články, tak hlavně odkazy na webové zdroje a knihovny, což je v takto zaměřené práci v pořádku). Zdroje jsou korektně citovány.

Vzhledem k povrchnosti některých částí textu se domnívám, že části práce byly generovány systémem umělé inteligence (např. ChatGPT), což samo o sobě není problém. Ovšem student by to měl přiznat a uvést v seznamu literatury, viz. Článek 4 metodického pokynu CVUT00001676/2024 ( <https://intranet.fel.cvut.cz/cz/rozvoj/MP-pouzivani-ui.pdf> ).

### 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).

### Otázky k obhajobě:

- Které komunikační protokoly jste implementoval a které části komunikace s rukou již byly vyřešeny v použitých knihovnách?
- Ukažte obrázky konfigurací ruky pro písmena z obrátku 5.3.
- Ukažte video uchopování dvou zmíněných předmětů.
- Jak jste použil nástroje umělé inteligence při psaní textu? (pozn. oponent není primárně proti, jen je dobré uvádět pokud tyto nástroje byly použity).

### 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.

Student prokázal schopnost vyřešit (alespoň částečně) zadání, vytvořil systém pro tvorbu znakové řeči a její rozpoznání. Navržený systém je relativně jednoduchý a „ušitý na míru“ konkrétnímu kusu hardware, a obsahuje předdefinované parametry, jejichž získání a kalibrace nejsou popsány. Úloha uchopování předmětů je řešena stylem „ruka drží cibuli“: není jasné jak lze rozpoznat, že je předmět správně držen, jak byly získány požadované hodnoty senzorů atd. Takto napsaná práce moc neposlouží dalším studentům, kteří by na tématu chtěli dál pokračovat. Práce neobsahuje ukázky (obrázky) znakové řeči. Součástí práce není příloha (například s video ukázkou práce ruky).

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **D-uspokojivě**.

Datum: 4. června 2024

Podpis: