POSUDEK VEDOUCÍHO ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Trajectory planning for a heterogeneous team in an automated warehouse
Jméno autora:	Tomáš Rybecký
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	RNDr. Miroslav Kulich, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	CIIRC, ČVUT v Praze

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **náročnější**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Náročnost zadání spočívala zejména v množství implementační práce nutné k realizaci kontrolního a simulačního frameworku, nutnosti nastudovat netriviální algoritmy koordinace robotů a navrhnout vlastní metody koordinace.

Splnění zadání **splněno**

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.

Zadání bylo splněno beze zbytku a v některých aspektech i překročeno. Student se seznámil s metodami bezkolizního plánování pro tým kooperujících robotů, navrhl a implementoval plánovací algoritmus se schopností rychlého přeplánování, rozšířil jej o schopnost plánovat pro člověka, realizoval testovací a evaluační prostředí a experimentálně ověřil vlastnosti navržených algoritmů. Kromě toho se podílel na vývoji reálného demonstrátoru automatizovaného skladu.

Aktivita a samostatnost při zpracování práce **A - výborně**

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.

Se studentem se mi pracuje velmi dobře. Je samostatný, přichází s vlastními nápady a tyto pak řeší. Vzhledem k tomu, že pracuje na projektech skupiny IMR, vyskytoval se na pracovišti v podstatě denně a komunikace tak nebyla problém. Vyzdvihl bych rovněž schopnost studenta samostatně komunikovat se spolupracujícími zahraničními partnery a řešit s nimi implementační i vědecké otázky. Student se rovněž v rámci projektu H2020 SafeLog zúčastnil integrací v německé logistické firmě SwissLog, kde některá z jeho řešení byla nasazována na roboty této firmy.

Odborná úroveň **A - výborně**

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

Odborná úroveň práce je na vysoké úrovni, o čemž svědčí tři články na mezinárodních konferencí, na nichž se student podílel a které vznikly na základě předkládané diplomové práce. Dva z těchto článků jsou se zahraničními spoluautory (z University of Zagreb a Russian Academy of Sciences). Očekávám, že další článek vznikne v nejbližší době.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce **A - výborně**

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

Práce je psána velmi slušnou angličtinou a je dobře čitelná. Student psal práci v dostatečném předstihu, takže jsem měl možnost ji několikrát číst a korigovat. Odpovídá tak mým požadavkům a představám.

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.

V práci je citováno 26 publikací, zejména časopiseckých a konferenčních článků. Všechny citace považuji za relevantní a aktuální a jsou uvedeny tak, jak odpovídá vědeckým standardům.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Student prokázal schopnost samostatně nastudovat a řešit zadaný problém. Oceňuji zejména množství a kvalitu odvedené implementační práce, studentovu samostatnost při řešení problémů a schopnost spolupracovat na vývoji v mezinárodním prostředí.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm A - výborně.

Datum: 12/06/2020 Podpis:

Posudek oponenta diplomové práce

Jméno studenta: Bc. Tomáš Rybecký

Oponent: Ing. Jakub Hvězda

Název práce: Trajectory planning for a heterogeneous team in an automated warehouse

Obsahové zpracování

Diplomová práce je rozdělena na 2 části o celkově 9 kapitolách (včetně závěru). První část práce se zabývá úvodem do řešeného problému plánování cest pro více robotů a jeho state-of-the-art metod. Autor dále v následujících kapitolách první části zběžně popisuje svou předchozí práci, na kterou navazuje s navrženým MCARP algoritmem, který pro přeplánování robotů zužitkovává informaci z jejich předchozích plánů. Tento algoritmus je v této části práce důsledně popsán ve všech navržených variantách spolu s nutnými podpůrnými datovými strukturami. Obzvláště oceňuji 4. kapitolu, ve které autor důkladně experimentálně otestoval všechny variace algoritmu a odůvodnil ze získaných výsledků výběr nejlepších variant.

Druhá část práce se zabývá popisem systému pro simulaci robotického skladu a začleněním člověka do procesu skladu bez nutnosti přerušení práce robotů pro zajištění bezpečnosti. V kapitolách této části autor popisuje funkci jednotlivých komponent systému a následnou integraci člověka, spolu s experimentálním vyhodnocením vlivů pohybujícího se člověka na čas doručení zásilek roboty. V této části obzvláště oceňuji zmíněné vyhodnocení vlivu člověka na provoz skladu, ale také popis laboratorního demonstrátoru robotického skladu,

který autor vyvinul ve spolupráci s dalšími studenty pro demonstraci funkčnosti navrženého systému.

Gramatické, stylistické a formální náležitosti

Práce je na vysoké gramatické a stylistické úrovni a obsahuje všechny formální náležitosti. Pouze zřídka se v ní vyskytují překlepy ve slovech.

Úroveň zpracování práce

Práce je přehledně zpracovaná a jednotlivé kapitoly do sebe srozumitelně zapadají. Navržené algoritmy jsou detailně popsány, vysvětleny a doplněny o případně doplněny o pseudokód. Pouze jeden pseudokód (Algorithm 2) není plně srozumitelný. Dále také většina grafů s výsledky v 4. kapitole není v tištěné verzi práce plně čitelná z důvodu velikosti grafu a legendy, ale také kvůli volbě barev pro jednotlivé verze algoritmů.

Přehled dostupné literatury a relevantních zdrojů

Práce čerpá z celkem 26 zdrojů, včetně 3 auto-citací. Všechny uvedené zdroje jsou aktuální a relevantní pro řešený problém.

Naplnění cílů práce

Cílem diplomové práce bylo seznámit se s nejnovějšími poznatky z oblasti plánování cest pro tým robotů se zaměřením na použití v robotickém skladu a pro případ kdy je potřeba roboty z nějakého důvodu přeplánovávat. Dalším cílem bylo také navrhnout a implementovat systém pro řízení skupiny robotů v robotickém skladu, spolu s nástroji pro testování a vyhodnocování daného systému. Dalším krokem zadání bylo rozšíření systému o možnost plánování pro člověka pohybujícího se skladem.

Všechny cíle práce byly **splněny.** Z obdržených výsledků je jasně patrné, které verze navrženo algoritmu mohou být případně použity v praxi a také jak přítomnost člověka ovlivňuje funkčnost robotického skladu.

Dotazy k obhajobě na diplomanta

1. Byla pro výpočet vzdálenostní matice pro účely heuristiky použita pouze vzdálenost cíle nebo i čas potřebný pro rotaci robota?
2. Vidíte nějaké překážky při implementaci z výsledků nejlepší verze algoritmu MCARP do navrženého simulačního systému?

Celkové zhodnocení diplomové práce

Student vypracováním této diplomové práce získal poznatky, které je dál schopen rozvíjet. Oceňuji detailní rozbor a diskuzi nad obdrženými experimentálními výsledky všech navrhovaných verzí algoritmu, spolu s doporučením, které verze jsou nejvhodnější pro danou aplikaci. Student tímto prokázal hlubší znalost problematiky. Práce splňuje všechny cíle a obsahové i formální nároky závěrečné práce.

Diplomovou práci **doporučuji** k obhajobě a navrhuji hodnocení **A - výborně**

.....

V Praze 14.6.2020

podpis oponenta