POSUDEK VEDOUCÍHO ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**TIAGo++: a robotic archer**
Jméno autora:	**Marek Jalůvka**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	RNDr. Miroslav Kulich, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Intelligent and Mobile Robotics,CIIRC

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **náročnější**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Náročnost zadání spočívala zejména v komplexnosti řešeného problému a nutnosti vyřešit alespoň základním způsobem řadu netriviálních podúloh z různých oblastí.

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.

Student zcela nepochybně splnil všechny body zadání. Zejména bych ocenil návrh trajektorií natažení luku tak, aby nebyly překročeny limity na síly působící na jednotlivé klouby robotu.

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.

Student pracoval velmi samostatně. Poté, co jsme se domluvili, že bude pracovat na robotu Tiago++, sám navrhl úlohu střelby z luku, která mi přijde velmi zajímavá. Poté si byl schopen sám definovat jednotlivé dílčí cíle i způsoby, jak jich dosáhnout. Moje role jako vedoucího práce tak byla minimalizována. Student vždy představil aktuální progres a návrh prací pro další období, který jsem mu téměř vždy schválil, případně pouze drobně korigoval. Oceňuji rovněž, že student samostatně konzultoval některé dílčí problémy s mými kolegy ze skupiny IMR.

Student měl situaci ztíženou probíhající pandemií Covid-19 a nemožností práce s reálným robotem během prvních měsíců roku 2021, což je u takto prakticky zaměřené práce velmi limitující. Se situací se však vypořádal velmi dobře, když se v období bez přístupu k robotu věnoval teoretické práci a práci v simulátoru a odladění s reálným robotem a experimenty prováděl v okamžiku, kdy to situace dovolila. Ideálně bych očekával větší množství experimentů, nicméně i současný počet ukazuje, že navržené řešení je funkční a student udělal maximum možného.

Odborná úroveň **A - výborně**

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

Student musel řešit několik teoretických i praktických úloh. Je zřejmé, že v rámci práce nebylo možné vyřešit všechny v plné komplexnosti a navrhnout nejlepší možné řešení. Proto jsme společně vytipovali klíčové komponenty úlohy střelby z luku, na které se student zaměřil a které zpracoval velmi pěkně. U ostatních částí systému pak student navrhl a implementoval jednoduchá, ale funkční řešení. Výsledkem je tak fukční řešení celé úlohy. Oceňuji, že si student mimo jiné nastudoval teorii lukostřelby, což mu pomohlo při návrhu vlastních algoritmů.

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

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

Práce je psána slušnou angličtinou a přestože obsahuje spoustu vzorců a popisů algoritmů, je dobře čitelná. Vlastní text jsem měl možnost připomínkovat a tak k němu nemám výhrady. Práce je psána v LaTeXu s použitím šablony T. Hejdy a je tak typograficky na velmi slušné úrovni. Ilustrující schmémata a fotografie jsou relevantní a pomáhají k porozumnění textu.

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.

Práce cituje 40 publikací, od časopiseckých článků a článků na mezinárodních konferencích po stránky s použitými softarovými knihovnami. Všechny citace považuji za aktuální, relevantní a v souladu s citačními zvyklostmi. Citované prameny poskytly studentovi dostatečný přehled ve zkoumané problematice na jehož základě byl schopen práci realizovat.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Student prokázal schopnost samostatně nastudovat a řešit zadanou úlohu. Oceňuji zejména jeho schopnost sám si definovat problém, rozdělit jej na dílčí podúlohy a tyto řešit. Předloženou závěrečnou práci proto hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně.**

Datum: 28.5.2021 Podpis:

POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**TIAGo++: a robotic archer**
Jméno autora:	**Marek Jalůvka**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídící techniky
Oponent práce:	Ing. Jiří Pavlíček
Pracoviště oponenta práce:	RS DYNAMICS s.r.o.

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **náročnější**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Zadání práce hodnotím vzhledem k rozsahu řešených podúloh v rámci celého zadání jako náročnější. K realizaci stanovených cílů diplamant využívá humanoidní robot TIAGo++ k jehož řízení se využívá middlware ROS, simulátor Gazebo pro modelování chování luku, pro rozpoznání terčovnice adaptoval diplomant existující algoritmy z počítačového vidění a také algoritmy lokalizace robotu v prostředí. Stěžejní úlohou pro studenta však zjevně bylo technické řešení držení luku, nátah tětivy a vypuštění šípu, tak aby minimalizoval zatížení servomechanismů v jednotlivých částech robotických paží se 7 stupni volnosti a také zamezení kolize luku s tělem robotu a prostředím.

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.

Dle mého názoru se student s náročným zadáním diplomové práce vypořádal velmi dobře a splnil zadání. Podařilo se mu propojit existující řešení některých podúloh s vlastní realizací úlohy střelby z luku.

Zvolený postup řešení **vynikající**

Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.

Vzhledem ke komplexnímu zadání úlohy je logické, že sudent použil pro řešení některých dílčích podúloh existující řešení, která adaptoval pro svoje potřeby, např. hledání terče v obraze z kamery, nebo lokalizace robotu v prostředí. Vlastní přínos diplomanta spočívá v realizaci držáku luku a způsobu natažení a uvolnění tětivy luku. Další úlohou je návrh algoritmu pro nalezení optimální konfigurace ramen robotu minimalizující zatížení servomechanismů v kloubech. Zatížení kloubů se odvozuje od proudové zátěže motorů v dané konfiguraci. Diplomant definoval a realizoval optimalizační kritérium pro nalezení minimálního zatížení obou paží.

Odborná úroveň **A - výborně**

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

Je zřejmé, že student navázal na výsledky své bakalářské práce, kde nasbíral zkušenosti s řízením robotické paže robotu Kuka v úloze hraní šachů. Úloha robotického lukostřelce je však ve své podstatě mnohem komplexnější. Student se musel seznámit s teorií střelby z luku a použít zjednodušený fyzikální model luku umožňující analýzu silových poměrů v této soustavě pro odhad dráhy letu šípu. Těchto výsledků pak následně využil pro řídící algoritmy jež řeší správné nasměrování luku na cíl, nátah tětivy a vypuštění šípu.

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

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

Text je přehledně strukturovaný do kapitol. Práce je psaná srozumitelnou angličtinou s řadou tabulek a obrázků jež usnadňují orientaci v řešené problematice a také matematické formulace jspu přehledné. Co se týče obrázků, měl bych výhradu k jejich velikosti, protože popisky v obrázcích jsou obtížně čitelné.

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.	
Diplomant cituje na 40 publikačních zdrojů jak z internetu, odborných článků a z také dokomentace k použitým systémům. Citace jsou v souladu s citačními zvyklostmi a normami.	

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).

Diplomová práce na téma robotického lukostřelce mě zaujala svojí náplní nejenom proto, že se zajímám o robotiku, ale táké proto, že jsem aktivním členem asociace lukostřelců ČR ve 3D. Mojí disiplínou je kategorie BHR, kde se v podstatě jedná o holý luk a šíp a nejsou povolena žádná přídavná mířidla ani měřidla vzdálenosti. Odhad vzdálenosti k terči a správné zamíření luku provádí tedy lukostřelec sám na základě svých vlastních smyslů a zkušeností míření v terénu. Tato zkušenost je obtížně přenositelná a vyžaduje hodiny pilného výcviku.

Správná technika lukostřelby se správným držením luku je důležitá pro zapojení správných svalových skupin, minimalizace zátěže šlach, zabránění kolize tětivy s rukou společně s hladkým vypuštěním šípu pro co nejlepší stabilitu luku při výstřelu pro opakovatelný výsledek. Všchny výše zmíněné aspekty řeší diplomant ve své práci. Jak diplomant sám zmiňuje, k fixaci tětivy na prsty jsou použity 2 prsteny na robotických prstech. Technika uchycení tětivy na palci pomocí prstenu, se používá ve východních kulturách a umožňuje lukostřelci napínat tětivu a luk v různých pozicích především při střelbě za jízdy na koni. V případě uchycení tětivy na více prstech robotické ruky pomocí prstenů daleko od konečků prstů, je zde ten problém, že tětiva při vypuštění naráží do konečků prstů, což ovlivňuje přesnost výstřelu. Pro zpřesnění střelby by se dalo uvažovat o použití pistolového vypouštěče šípů, který se používá u kladkových luků. Tím by se do značné míry daly snížit síly vyvíjené na serva v článcích prstů robotické ruky a zvýšit přesnost střelby.

Luk a šíp jsou spolu úzce spojeny. Výkon luku musí být velmi dobře sladěn s tuhostí šípu a jeho vahou, jinak nelze očekávat stabilně opakovatelný soustřel na větší vzdálenosti ani u vynikajícího střelce. Je pochopitelné, že v rámci řešitelnosti úlohy je třeba provést mnohá zjednodušení a také myslet na bezpečnost. Domnívám se, že zvolený luk a šípy s přísavkou významně ovlivňují dráhu letu šípu i na kratší vzdálenost a snižují přesnost zásahů.

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.

Diplomant prostudoval širokou škálu studijních materiálů a povedlo se mu realizovat řadů dílčích řídících algoritmů nejenom v rámci simulátoru Gazebo, ale finálně také na reálném robotu TIAGo++. Neviděl jsem sice výsledky na reálném experimentálním zařízení, nicméně diplomant prezentuje na obrázcích výsledky reálných experimentů ve formě vyhodnocení zásahů na terčovnici ve vzdálenosti 4m a 4,5m. Tento rozdíl ve vzdálenosti z experimentálního hlediska považuji za nepodstatný, neboť z praxe vím, že 0,5 vzdálenost prakticky nehraje z hlediska soustřelu žádnou roli. Zajímavější by bylo vidět, jak si navržené algoritmy poradí se střelbou na větší vzdálenosti. Je třeba však vzít v úvahu, že praktická realizace takovýchto experimentů by v tuto chvíli byla komplikována mnoha omezujícími faktory jako např. málo výkonný a nepřesný luk se šípy s přísavkou. Použití výkonnějšího luku by zase vedlo na nadměrnou zátěž servomechanismů robotu a také vyšším nárokům na bezpečnost.

Zajímavým výsledkem práce je zjištění, že optimální nalezené konfigurace ramen robotu při natahování luku s požadavkem na minimální zatížení kloubů se podobá způsobu držení luku člověkem.

Domnívám se, že student odvedl velmi dobrou práci a povedlo se mu implementovat funkční systém s ověřením na reálných experimentech, byť doba potřebná pro jeden výstřel je kolem 5min. Zde je jistě mnoho prostoru pro možnosti optimalizace z hlediska výkonnosti SW algoritmů, tak výpočetního výkonu HW, jak také diplomant v závěru své práce sám naznačuje.

Otázky:

1) Zajímalo by mě, zda si diplomant vyzkoušel soustřel na různou vzdálenost při stejných výchozích podmínkách. Těžko totiž očekávat zlepšení soustřelu při celém průběhu hledání cíle a míření, pokud za pevně daných vstupních podmínek k soustřelu opakovatelně nedochází.

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

Datum: 3.6.2021

Podpis: