POSUDEK VEDOUCÍHO ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**Optimal Trajectory Planning for a Quadrotor UAV for Autonomous Drone Race**
Jméno autora:	**Bc. František Nekovář**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	Ing. Milan Rollo, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra počítačů

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **náročnější**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Zadání práce považuji za náročnější. Autor se musel seznámit se stavem problematiky v teoretické oblasti a znalosti pak aplikovat v praxi ve formě implementace algoritmů v prostředí Matlab a Robot Operating System (ROS).

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 práce považuji za splněné. Práce představovala kombinaci teorie a praktické části. V teoretické části se autor zabývá optimálního řízení autonomního bezpilotního prostředku. V praktické části autor jím navržené metody řízení implementoval v prostředí Matlab a v jazyku C a ověřil je v simulacích v prostředí ROS s využitím simulátoru Gazebo. Jedinou drobnou výhradu mám k použití skutečné hodnoty o poloze UAV v simulacích, namísto simulovaných senzorů, které by do systému vnášely chybu a zpoždění. Tento problém autor pouze zmínil bez podrobnějšího rozboru.

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.

Autor pracoval samostatně, k praktické realizaci přistupoval aktivně. Na práci autor pracoval zejména během svého pobytu na zahraničním pracovišti, z tohoto důvodu probíhaly osobní konzultace pouze v omezeném režimu. Autor prokázal schopnost samostatně zpracovat dané téma, v průběhu řešení dokázal identifikovat důležité podproblémy a tyto problémy analyzovat a vyřešit.

Odborná úroveň **A - výborně**

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

Práce je na velmi dobré odborné úrovni. Autor aplikoval v praxi znalosti z oblasti řídicích systémů a robotiky. Autor se postupně věnuje celému řetězci řízení pohybu kvadkoptéry přes model prostředí, fyzikální model samotného prostředku, plánování cesty, trajektorie a ověření vlastností navržených metod řízení. Autor provedl experimentální ověření simulací v prostředí ROS, kde prokázal funkčnost navrženého řešení. Oceňuji schopnost metody ověřit v prostředí ROS ve spojení se simulátorem Gazebo, protože prvotní konfigurace, spuštění a implementace nových metod v tomto prostředí je relativně obtížné.

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

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

Po formální stránce je práce dobře zpracována, je vhodně členěna do kapitol a sekcí, obsahuje všechny náležité části. Práce je zpracována v anglickém jazyce na dobré úrovni, obsahuje přijatelné množství gramatických chyb.

POSUDEK VEDOUCÍHO ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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.	
Autor se v práci odkazuje na více než 20 publikačních zdrojů. Jedná se o relevantní a aktuální publikace z nedávných let. Zdroje jsou v práci řádně citovány a odlišeny od vlastních úvah. Citace jsou v souladu s konvencemi.	

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 byla svým rozsahem relativně komplexní, bylo třeba zorientovat se v problematice plánování trajektorií pro autonomní bezpilotní prostředky. Autor navrhl a implementoval celý řetězec potřebný k řešení problému. Výsledky práce budou na pracovišti nadále využívány při řešení dalších projektů.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Jedná se o kvalitní a přehledně zpracovanou práci, autork prokázala aktivní a samostatný přístup k řešení zadaného problému.

Při obhajobě doporučuji autorovi položit následující dotaz – v práci se pouze stručně zmiňujete o problému, kdy jste při simulacích použil data ze simulované IMU jednotky, ovšem Váš kontroler vykazoval velkou citlivost na vstupní data a nedokázal simulovaný let dokončit. Mohl byste problém popsat podrobněji, případně naznačit způsob, jakým by bylo možné problém odstranit?

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

Datum: 30.1.2019 Podpis: Milan Rollo

POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**Optimal trajectory planning for a quadrotor UAV for autonomous drone race**
Jméno autora:	**František Nekovář**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Doc. Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Katedra řídicí techniky FEL ČVUT

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **mimořádně náročné**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Zadaná problematika optimálního plánování a sledování trajektorie dynamickým systémem (v tomto případě dronem) představuje v rámci diplomové práce mimořádnou výzvu. To jednak kvůli obrovské šíři (těch přístupů je velké množství), tak i kvůli bezedné hloubce (opravdu dobré porozumění mnohým z metod vyžaduje znalosti z oblasti automatického řízení a numerické optimalizace, které jdou daleko za hranice magisterského kurikula). A toto hodnocení platí i při uvažování aplikačního charakteru práce, protože ta znalost praktických výhod i nevýhod a tím i schopnost posouzení vhodnosti jednotlivých metod přichází jedině s hlubokým porozuměním fundamentálním principům.

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.

Bylo-li zamýšleným (a zadaným) cílem práce získání alespoň základního přehledu o metodách pro plánování a následném sledování trajektorií prokázané simulací s využitím matematických modelů autonomních dronů, pak student zadání nepochybně splnil. Podobně jako v předchozím odstavci však nemůžu neupozornit, že opravdu vyčerpávající splnění by bylo možné očekávat spíše od práce dizertační.

Zvolený postup řešení **správný**

Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.

Můj hlavní komentář či snad dokonce i výhrada k práci je, že z široké nabídky metod pro numerickou optimalizaci trajektorií dynamických systémů a jejich následné sledování dynamickým systémem byly vybrány **nějaké tři** (polynomiální optimalizace s využitím konceptu zvaného v angličtině „differential flatness" pro namapování požadovaných výstupů na vstupy, dále optimalizační metoda s akronymem PRONTO a nakonec metoda studentem nazvaná jako „nonlinear programming trajectory"), přičemž není zřejmé, **proč právě tyto tři** (přičemž dokonce jen dvě z nich student úspěšně „rozchodil" v simulacích). V práci, v níž jednou z výslovně zadaných součástí bylo vypracování přehledu, bych očekával důkladnější zdůvodnění konečného výběru metod.

Odborná úroveň **A - výborně**

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

Vzhledem k náročnosti zadání je opravdu obdivuhodné, kolik toho student musel sám nastudovat. Z textu práce lze nabýt dojmu, že student principům zmíněných metod porozuměl do té úrovně, že je byl schopen použít (tedy alespoň dvě z nich). Za to mu patří uznání. Přesto však místy působí prezentace problematiky značně matoucím dojmem. Kupříkladu z uvažovaných tří metod je ta první vyloženě přímovazební (optimální trajektorie vypočítaná offline je transformovaná na akční zásahy), ta druhá v sobě kombinuje plánování i zpětnovazební sledování a třetí poskytuje pouze optimální trajektorii bez jakékoliv diskuze jejího sledování v reálném čase. Přitom je to právě vysvětlení a porozumění vztahu mezi úlohami plánování trajektorie a jejího zpětnovazebního sledování, které je pro celou problematiku zásadní.

Mimochodem, k onomu matení přispívá i samotný abstrakt, kde autor píše, že je vytvořen „open loop [sic!] regulátor pro sledování trajektorie". Jak může být sledování trajektorie realizováno bez zpětnovazební smyčky?

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce **C - dobře**

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

Rozsah práce je rovných 40 stran (včetně seznamu literatury), což je adekvátní a dostačující. Práce je psaná poměrně dobrou angličtinou. Vysázena je v systému (La)TeX s využitím fakultní šablony, díky čemuž i po typografické stránce působí velmi solidně. Přesto mám k oběma atributům výhrady. Anglické věty jsou často až tak moc moc komplikované a rádoby květnaté, že to stěžuje jejich srozumitelnost. Grafickému dojmu z práce zase vůbec nepomáhá nedodržení některých základních požadavků na vloženou grafiku, jako například (malá) velikost fontů a (malá) tloušťka čas u vložených grafů. Jsou to rozhodně jen drobnosti, ale dokonalosti textu ubírají. Při psaní/sázení matematických vzorců by se jistě vyplatila střídmost při označování některých veličin (například označení regulační chyby jako **er** bude mnohé čtenáře do konce textu mást jako součin regulační odchylky **e** a reference **r**). Textu by také velmi prospělo použití spellcheckeru!

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.

Student se v práci odkazuje na 21 dalších prací (článků). Jakkoliv jsem si vědom skutečnosti, že jde o práci diplomovou a nikoliv dizertační, které by snad toto pokročilé výzkumné téma slušelo i více, a že tedy čas vyhrazený na studium „state of the art" byl omezený, přesto si dovolím namítnout, že ten přehled používaných metody mohl být o něco důkladnější. Navíc ten výběr metod působí až téměř jako náhodný. Mnohá z děl, která jsou v oblasti návrhu optimálních trajektorií a jejich sledování považována za klasická, včetně těch přehledových, zde chybí.

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.

-

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.

Náročné zadání s nutností hledat zdroje výhradně ve výzkumné literatuře mě i přes zřetelné nedostatky práce vedou k jejímu vysokému hodnocení.

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

Student by při obhajobě mohl krátce pohovořit dopadu rozdílu mezi trajektorií (angl. trajectory), kde je pozice parametrizovaná časem, a tratí (angl. path), která je pouze křivkou v prostoru, na výpočetní plánování a realizaci pohybu robotů/dronů.

Datum: 5.2.2019 Podpis: