

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	<b>Over-actuated vehicles path tracking algorithms</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Jakub Macar</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Vedoucí práce:</b>	doc. Ing. Tomáš Haniš, Ph.D.
<b>Pracoviště vedoucího práce:</b>	Katedra řídicí techniky, ČVUT FEL

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Předložená práce se zabývá návrhem algoritmů vedení po trati pro vozy s více stupni volnosti ovládní příčné dynamiky, jmenovitě natáčenou přední a zadní nápravou. Cílem je prozkoumat možnosti konvenčního návrhu pomocí kaskádní architektury inspirované v letectví. Finální návrh je pak otestován s použitím naší zmenšené experimentální platformy.	

<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>	
Student zadání splnil ve všech bodech v plné míře	

<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 byl velmi aktivní a na dohodnuté termíny chodil připraven. Sám iniciativně řešil problémy a na konzultacích jsme většinou řešili předložené alternativy řešení daného problému.	

<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>	
Předložená práce je na vysoké odborné úrovni. Kde student byl schopen využít znalosti získané během studia, které dále úspěšně rozšířil o informace z literatury a dalších zdrojů. Výsledkem je funkční řešení ověřené na verifikačních simulačních modelech i experimentálně s využitím jízdních testů.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Předložená práce je v anglickém jazyce a plně odpovídá rozsahem a formou.	

<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 zvyklostmi a normami.</i>	
Student prokázal schopnost pracovat s literaturou a získat informace z dalších zdrojů nezbytných pro realizaci této práce.	

<b>Další komentáře a hodnocení</b>
<i>Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.</i>

Student se velmi dobře zorientoval v problematice a dokázal navázat na předchozí výsledky v naší skupině. Ukázkově navrhl jednotlivé řídicí smyčky s využitím poznatků z kurzů automatického řízení. Díky identifikovanému jednostopému modelu bylo možné plně využít návrhové metody pro tradiční architektury řízení. Jednotlivé dílčí výsledky ověřil na simulačních modelech a výsledně řešení ověřil pomocí jízdních testů.

### **III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE**

Předložená práce řeší problematiku vedení po trati vozidel s řízenou přední i zadní nápravou. Celá architektura je koncipována jako kaskádní struktura konvenčních SISO regulátorů inspirovaných jednotlivými smyčkami autopilotu v letectví. S využitím předpokladů pro postupné rozdělení celkového problému na řízení podélné a příčné dynamiky vozu a následně oddělení problému řízení orientace vozu a příčné rychlosti vozu v příčné dynamice, lze využít návrhových metod a konvenčních SISO architektur řízení. Pan Macar úspěšně implementoval a otestoval jednotlivé smyčky řídicího systému vedení po trati. Následně otestoval a upravil celkový algoritmus pro případ, když referenční trajektorie je ve značné vzdálenosti od pozice vozidla a nedošlo k přepočítání trajektorie. Tím otestoval celkovou funkčnost daného systému včetně robustnosti vůči porušení předpokladu plánovače a počáteční pozice vozu. V neposlední řadě ověřil funkčnost navrženého systému s využitím jízdních testů.

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

Datum: 2.5.2022

Podpis:

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Algoritmy vedení po trati pro vozidla s více stupni volnosti</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Macar Jakub</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Tomáš Rutrlé
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Porsche Engineering Services, s.r.o.

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Práci hodnotím jako náročnější, především s ohledem na její rozsah. Student si musel osvojit základy matematických modelů vozidel, vytvořit si vlastní simulační workflow na návrh řídicích algoritmů a na závěr prokázat validitu navržených algoritmů na reálné platformě.	

<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>	
Všechny body zadání splněny bez výhrad.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>vynikající</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený postup hodnotím jako vynikající. Student správně identifikoval problematiku svého zadání, kterou si rozdělil na logické úkoly. Ty byly srozumitelně popsány v jednotlivých kapitolách s dobrou návazností.	

<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 odráží výbornou schopnost studenta analýzy problému a volby správných metod k jeho vyřešení. Byla předvedena schopnost návrhu řídicího systému s více výstupy, pro který si student navrhl vlastní architekturu. Oceňuji především návrh laterálního regulátoru s využitím budoucího požadovaného vybočení vozidla (look-ahead yaw). Student dále předvedl schopnost naladění regulátorů pomocí matematického modelu vozidla a dokázal přenést simulační výsledky na reálnou experimentální platformu – což rozhodně není samozřejmostí.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Práce je napsána angličtinou na výborné úrovni. Oceňuji, že je text čtivý a vyvaruje se „prázdným“, nepřínosným pasážím. Chtěl bych také vyzdvihnout schémata, která jsou pěkně a přehledně zpracována a text logicky doplňují. Rozsah práce je více než adekvátní.	
Drobný nedostatek vidím v posloupnosti prezentování informací. Např. rovnice (1.1) je do textu zasazena bezpředmětně a je plná členů, které jsou zadefinovány až v páté kapitole. Struktura prezentování simulačních výsledků by mohla být přehlednější, bylo by např. užitečné vidět efektivitu všech verzí regulátoru v jednom grafu.	

<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</i>	

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 využil řadu relevantních zdrojů, které jsou v textu řádně označeny.

#### **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.

Student navrhl, naladil a úspěšně otestoval, poměrně komplexní řídicí systém. Práce je pečlivě zpracována po stránce odborné a formální a splňuje všechny body zadání na vysoké úrovni.

Oponent má dvě dodatečné poznámky:

1. Škoda, že řídicí systém nebyl otestován na experimentální platformě na více než jedné trajektorii. Oponent si ale uvědomuje náročnost těchto experimentů, a i tento jeden výsledek velmi oceňuje.
2. Bylo by dobré navrhnout takový (simulační) experiment, který by skutečně vyzdvihl benefit natáčecí zadní nápravy.

### **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.

Oponent práci hodnotí jako výbornou a má doplňující dotazy:

1. Jaké jsou výhody kaskádové konfigurace regulátoru dopředné rychlosti oproti jedné zpětné vazbě?
2. Experimenty zobrazené v grafech 7.3 a 7.4 – neměla by se víc projevit „cross-track“ složka regulátoru, aby se snížila odchylka vozidla od referenční tratě?
3. Jak by si SRHA vedl pro U-turn a L-turn scénář?
4. V rámci sekce 5.4.4, jakým způsobem jsou voleny koeficienty  $k_C$  a  $k_L$ ?

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

Datum: 5.6.2023

Podpis: