

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Autonomous vehicle traction system development</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Ondřej Kuban</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>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Bakalářská práce se zabývá návrhem systému řízení jízdní dynamiky autonomního vozu. Tato práce je motivována eForce Formule Student týmem a jejich autonomní formulí	

<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, na dohodnuté termíny chodil připraven.	

<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 dobré úrovni. Kde student byl schopen využít znalosti získané během studia, které dále úspěšně rozšířil o informace z literatury a dalších zdrojů. Výsledkem předložené práce je hierarchický řídicí systém poskytující kontrolu trakce, včetně příčného rozdělení trakčního momentu, za účelem modifikace příčné jízdní dynamiky. Výšší řídicí úroveň poskytuje funkcionalitu vedení po trati.	

<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 a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.</i>	

---

### III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Ondřej pracoval na tématu rozšíření řízení autonomního vozu formule týmu eForce ČVUT – FEL. Hlavním aspektem této práce je vyvinout hierarchický řídicí systém s ohledem na jízdní dynamiku vozu a kontrolu trakce vhodného právě pro autonomní formuli. Student dále naimplementoval algoritmy řízení příčné dynamiky a vedení vozu po trati založených na předpokladech nižších smyček řízení jízdní dynamiky. Veškeré algoritmy úspěšně testoval s využitím simulačního prostředí IPG CarMaker s modelem verifikovaným na reálných jízdních datech.

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

Datum: 26.1.2024

Podpis:

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	<b>Autonomous vehicle traction system development</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Ondřej Kuban</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 Veselý
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Advanced Controls, Garrett motion

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Předloženou bakalářskou práci hodnotím jako náročnější, jelikož autor v práci navrhl a naimplementoval řadu řídicích zákonů, a to jak pro podélnou dynamiku vozu, tak pro sledování referenční trajektorie.	

<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>	
<p>Autor splnil všechny body zadání. V první kapitole chybí vytyčení cílu práce a vymezení jejího obsahu, není zcela zřejmé, zda výstupem práce má být „pouze“ návrh a validace řídicích zákonů v simulačním prostředí, nebo má být kladen důraz i na integrovatelnost navržených řešení do reálného vozidla a validaci na reálném vozidle. V práci chybí podrobnější rešerše algoritmů pro sledování trajektorie a řízení podélné dynamiky vozu. Autor krátce a povrchně zmiňuje několik řídicích algoritmů hned v první kapitole, ale domnívám se, že této rešerši by měl autor věnovat celou kapitolu, ve které by podrobněji popsal principy jednotlivých přístupů, zhodnotil jejich klady a zápory a nakonec kriticky zhodnotil jejich přínosy a využitelnost pro tuto úlohu. Dále chybí diskuze, proč autor řídicí zákony navrhl zrovna tímto způsobem (dle mého názoru správně) a jaké existují případné alternativy.</p> <p>Nakonec bych měl drobnou výhradu k ladění a následné validaci regulátoru rychlosti kol, kdy navržený regulátor vykazuje oscilace. Autor správně podotýká, že jsou tyto oscilace nejspíše způsobeny příliš agresivním regulátorem, nicméně si myslím, že se měl pokusit naladit regulátor tak, aby nekmital, a zhodnotit, jaký vliv by mělo toto „konzervativní“ naladění na celkovou odezvu systému (zejména na dobu ustálení) a zda je opravdu nutné mít takto agresivní regulátor i za cenu zákmitů.</p>	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený postup řešení považují za správný. Jednotlivé kroky návrhu řešení na sebe logicky navazují, velká část práce je věnována podrobnému popisu jednotlivých navržených regulátorů a jejich následné validaci. Vyzdvihl bych hlavně část práce věnující se validaci navržených regulátorů, která je velmi obsáhlá a kvalitně zpracovaná. V práci nejvíce chybí podrobnější rešerše, jak bylo zmíněno výše, a srozumitelnější vytyčení cílu práce.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Technická úroveň a rozsah práce zcela odpovídá nárokům na bakalářskou práci. Autor správně využívá svých poznatků získaných během studia, především z oblasti řídicích systémů. V kapitolách věnovaných návrhu algoritmů pro sledování trajektorie a řízení podélné dynamiky postrádám diagram zobrazující interakci mezi oběma algoritmy. Obrázek 4.2. na straně 29 působí trochu zmatečně; zde by pomohlo vykreslit diskrétní body	

trajektorie před proložením spliny. Na straně 32 schází graf skokové odezvy cross-track regulátoru se škálováním zavedeným rovnicí 4.9. a porovnání s neškálovanou odezvou. V kapitole „Experiments“ chybí údaj o lookahead vzdálenosti a analýza jejího vlivu na cross-track error.

**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 na velmi vysoké úrovni s minimálním množstvím nedostatků. Jediným opakujícím se prohřeškem je zápis rovnic; rovnice by vždy měla být součástí věty, tedy by za ní měla být tečka, či by věta měla dále pokračovat. Na straně 5 je rovnice 1.6. nesprávně označena jako dvě rovnice 1.6. a 1.7., přestože se jedná o jednu rovnici. Na straně 29 v rovnici 4.4. má být  $p_{car}$  místo  $p_c$ , sekce 3.4.4. by celá mohla být uvedena až v příloze. Práce je psaná dobrou angličtinou a dobře se čte. Některé formulace působí zbytečně úsporně a bylo by vhodné je více rozepsat.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**C - 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.*

Autor správně pracuje s citacemi, z textu je zřejmé, jaké části jsou převzaty. Citovaná literatura je relevantní k tématu práce, avšak vzhledem k chybějící rešeršní části měl autor prostudovat více zdrojů.

**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.*

Předložená práce se zabývá návrhem a implementací algoritmů pro sledování trajektorie a řízení podélné dynamiky vozu. Po praktické stránce je práce velmi pěkně koncipovaná a kvalitně zpracovaná. Zmíněné nedostatky nemají vliv na celkovou kvalitu práce, jediným slabším místem je nedostatečná rešerše. Z formálního hlediska nemám k práci žádné výhrady, práce je psaná kvalitní angličtinou a velmi pěkně se čte.

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

**K práci mám následující otázky:**

- 1) Na grafech 6.1. – 6.3. lze pozorovat zákmitý regulátoru pro řízení rychlosti kol. Jaký vliv by měla změna ladění regulátoru, aby byl méně agresivní (tzn. nekmital)? Jak by se změnila celková odezva regulátoru rychlosti vozu na grafu 6.7.? Bylo by možné naladit regulátor řízení rychlosti kol tak, aby nekmital a zároveň nedošlo k výraznému zhoršení kvality řízení rychlosti vozu?

- 2) Na grafech 6.5. a 6.6. je vidět odezva  $\mu$ -jump pro  $\mu = 0.6$ . Jak by se změnilly grafy pro větší změny v koeficientu tření  $\mu$ , např. pro  $\mu = 0.2$ , což může odpovídat zledovatělé vozovce. Splňoval by navržený regulátor všechna kritéria, nebo by bylo potřeba ho přeladit?
- 3) Jaká hodnota lookahead vzdálenosti byla použita v experimentech pro sledování trajektorie? Jaký vliv by měla její změna (zvýšení, snížení) na přesnost sledování trajektorie?

Datum: 28.1.2024

Podpis: