

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	<b>Autonomous vehicle trajectory tracking algorithms</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Bc. Jan Švancar</b>
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<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>	
Diplomová práce řeší vývoj a testování algoritmů vedení po trati pro vozidla s více stupni volnosti ovládní. Součástí této práce jsou i jízdní experimenty na reálné zmenšené jízdní platformě. Především praktický aspekt zvyšuje náročnost a komplexnost předložené práce.	

<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 technické úrovni, kde student úspěšně převzal a naimplementoval referenční řešení vedení po trati, které je obecně uznávané komunitou a které mimo jiné vyhrálo DARPA výzvu v oblasti pohybu autonomních vozidel v poušti. Dále navrhl, vyvinul a úspěšně naimplementoval své vlastní řešení založené na MPC algoritmu. V neposlední řadě toto řešení úspěšně ověřil pomocí jízdních experimentů.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>C - dobře</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Předložená práce je v anglickém jazyce a odpovídá rozsahem a formou. Bohužel se na kvalitě odrazil nedostatek času spojený se zmenšenou platformou, kterou bylo potřeba během práce kompletně renovovat.	

<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 odbornou literaturou, kde dokázal převzít a naimplementovat referenční řešení založené na časopiseckém článku. Obdobně své vlastní řešení v průběhu práce modifikoval a rozšířil o přístup k linearizaci MPC prediktoru dle odborné publikace. Dále prokázal schopnost napříč znalostmi získanými při studiu, kde dokázal schopnost navrhnout, osadit a oživit elektronické vybavení platformy. Teoretické znalosti v oblasti souřadných systémů a	

jejich transformací. V neposlední řadě znalosti z oblasti teorie řízení, kde dokázal navrhnout, naimplementovat a otestovat referenční a vlastní řešení založené na MPC přístupu. .

#### **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 se velmi dobře zorientoval v problematice a dodal řešení využívající poslední poznatky v oblasti systémů řízen navázané na relevantní problematiku průmyslové úrovně.

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

Student se velmi dobře zapojil do týmu řešící vývoj autonomních algoritmů vozu. Odvedl velké množství práce, které bylo nutné pro přípravu a exekuci jízdních experimentů, ale které v předložené práci bohužel nejsou přímo publikovatelné. Úspěšně převzal a naimplementoval referenční řešení pro vedení vozu po trati, které porovnal s vlastním algoritmem založeným na MPC přístupu. Práce byla zpožděna z důvodu hardwarových problémů spojeným s jízdní platformou, které Jan vyřešil. Toto zpoždění se bohužel promítlo do kvality a rozsahu samotné práce, jelikož student nedokázal plně vytěžit připravené materiály a odvedenou práci.

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

Datum: 31.1.2023

Podpis:

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	Algoritmy vedení po trati pro autonomní vozidlo
<b>Jméno autora:</b>	Bc. Jan Švancar
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Jan Filip
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	ISEE, 501 Massachusetts Ave, Cambridge, Massachusetts, USA

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Práce se zabývá návrhem řídicího algoritmu vedení po trati vozidla s nezávislým natáčením všech čtyř kol a jeho experimentálním ověřením na zmenšeném modelu. Toto zadání hodnotím jako mimořádně náročné, jak v teoretickém rozsahu, který propojuje řadu oborů (matematické modelování, syntézu řízení, vývoj vestavných systémů), tak i v jeho experimentálním ověření, protože úplné splnění zadání závisí na počátečním technickém stavu testovací platformy. Odstranění problémů na platformě, se kterými se student při integraci a nasazení algoritmu setká, není přímo zachyceno v bodech zadání, přesto se může stát časově nejnáročnější položkou práce.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s menšími výhradami</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>	
Práce pokrývá veškeré body zadání. Z výsledků experimentů je bohužel patrné, že byly prováděny v nedostatku času. Množství experimentů provedených k ověření a porovnání algoritmů je nízké. Navržený algoritmus v experimentu vykazoval nedostatky, které mohly být odstraněny skrze opakované experimenty, nebo větší přípravu celého řešení v simulaci. Body zadání 3 a 4 proto hodnotím jako splněné s výhradami.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>částečně vhodný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený postup se skládá z řešerše, matematického modelování, návrhu řízení a jeho experimentálního ověření. Postup a metody jsou správné. V řešení bych doporučil více využít simulátor zmíněný v sekci 3.4. Pokud se během práce vyskytly problémy s integrací do hardwarové platformy, které opoždily možnost provádět experimenty, pomohlo by algoritmus připravit pro testování v simulaci. Tento postup by byl prospěšný nejen pro přípravu nástrojů k efektivnímu zpracování a porovnání výsledků, ale zejména pro vyšší bezpečnost prováděných experimentů. Nedostatek MPC řešení, který se při experimentu projevil, mohl být rizikový z hlediska možného poškození platformy a omezení dalších experimentů. Využití simulace by pomohlo podobnému problému předejít.	

<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>	
Práce má dobrou odbornou úroveň, demonstruje teoretické znalosti diplomanta získané studiem, jeho schopnost samostatné práce a rozšiřování znalostí četbou odborných článků.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>D - uspokojivě</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	

Oceňuji, že je práce napsaná v anglickém jazyce. V textu jsou bohužel časté gramatické chyby, překlepy, chybně (ne)vysázené příkazy pro matematické vzorce, záměny písmen z/y, a formulace, které snižují čtivost práce. Tyto nedostatky vyvolávají dojem, že finální text práce byl připraven ve spěchu a neprošel řádnou korekturou, což kazí celkový dojem. Přiložené grafy obsahují několik chyb v jednotkách, překlepy v názvech a nejednotný grafický vzhled. Těmto nedostatkům lze předejít, pokud by jejich tvorba byla zautomatizována. Větší rozsah práce mohl být věnován experimentálnímu ověření a diskusi výsledků. Mimo tyto nedostatky práce dobře dokumentuje jednotlivé kroky řešení a bude vhodným zdrojem pro navazující studentské práce.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**D - uspokojivě**

*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 navazuje na předchozí publikační výsledky své výzkumné skupiny a vychází z relevantních, vhodně zvolených zdrojů. Citace jsou úplné a v souladu s normami. V kapitole věnované popisu platformy není bohužel jasně oddělen vlastní přínos studenta a není zřejmé, jaký je jeho podíl na autorství platformy. Kapitoly věnované identifikaci modelu a návrhu prediktivního řízení mohly být hlouběji ukotveny v dostupných pramenech a odkazovat se v jednotlivých krocích návrhu na již existující publikace, případně se vymezit vůči jejich nedostatkům a zdůvodnit vhodnější postupy řešení. Prameny ze zadání [2]-[5], které by pro tento krok byly vhodné, nejsou v práci explicitně využity.

**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.*

V návrhu budoucích kroků bych ocenil i diskusi zmíněného známého problému MPC řešení a postupu, jak by měl být odstraněn. Tento problém zjevně zabránil provádění komplexnějších experimentů, hlubšímu porovnání obou řešení, i praktickému využití navrženého řešení v demonstrátoru. Druhý z experimentů, který kapitola 7 uvádí, není v textu práce popsán. Drobnou výhradu mám také k identifikaci podélné dynamiky, která je založena na velmi krátkém experimentu a hledání parametrů za pomoci optimalizace. Zde by bylo vhodnější nasbírat větší množství odezev, nebo na malém souboru použít klasické metody identifikace skokové odezvy a zaměřit se, aby ustálená hodnota a časová konstanta modelu lépe odpovídaly změřeným datům.

**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 prokázal schopnost samostatně řešit komplexní inženýrský problém. Navržené řešení pokrývá širokou problematiku od teoretického návrhu až po praktickou implementaci a validaci. Zadání vnímám jako mimořádně náročné. K práci mám následující otázky:

1. Jaká je v modelu stranové dynamiky vozidla fyzikální jednotka tuhostí  $C_r$  a  $C_f$ ? Jak byste řádovou analýzou okomentoval vysoké hodnoty  $I_z$ ,  $C_r$  a  $C_f$  které vzešly z použití optimalizačních metod v prvním identifikačním experimentu v sekci 3.3?
2. Jak jste při návrhu a ověření řízení využil simulátor popsany v sekci 3.4?
3. Jaký postup byste v MPC algoritmu navrhl pro odstranění problému omezeného pracovního rozsahu z hlediska úhlu kurzu vozidla?

Předloženou závěrečnou práci vzhledem k náročnosti zadání hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Datum: 31.1.2023

Podpis: