Posudek na diplomovou práci

Název práce:	**Nestabilní pozemní vozidla a systémy pro jejich aktivní stabilizaci**
Autor:	Denis Efremov
Posudek vypracoval:	Doc. Ing. Martin Hromčík, Ph.D., Katedra řídicí techniky FEL ČVUT v Praze (vedoucí práce)
Navrhované hodnocení:	A – výborně

Diplomová práce Denise Efremova se věnuje zákonům řízení pro umělou stabilizaci stranově nestabilních vozidel a přínosům nestabilních nebo marginálně stabilních konfigurací na dosažitelné jízdní výkony. Denis navazuje na práci Ing. Martina Mondeka věnovanou systémům vektorování momentu pro zvýšení stability a agility sportovních vozů.

Hlavními přínosy práce jsou navržené architektury řídicích zákonů pro stabilizaci jízdy a jejich validace na připravených jízdních scénářích a na simulační platformě. Výsledky jsou založené na jednoduchých dvoustavových jednostopých modelech s významnými nelinearitami pneumatik (Pacejkův model), pro účely návrhu a analýzy regulátorů linearizovaných. Modely jsou implementovány v prostředí Matlab Simulink, pro vizualizaci a simulované jízdní testy pak student zprovoznil komunikaci s programem Cruden Panthera.

Denis se s těmito problémy popasoval velmi dobře. Je potřeba zdůraznit, že jde podle všeho o zcela novátorský výzkum, kterým se v podstatě nikdo systematicky nezabývá, studentova pozice tak nebyla snadná a standardní. Přesto v prezentované práci představuje Denis první funkční zákony řízení pro umělou stabilizaci vozidel a naznačuje přínosy nestabilních automobilů ve formě zvýšené agility i stability současně (což standardními úpravami mechaniky podvozku a rozložení hmotnosti nelze dosáhnout, vždy je to buď anebo) či možné úspory paliva (sekce 6.1 Spiler elimination). Samozřejme zůstává řada otázek otevřených nebo nedokončených: ověření na high-fidelity simulačních modelech, force feedback a algoritmy pro jeho generování, systémy odhadování úhlu smyku, a mnoho dalších. Na nich bude Denis pracovat pod mým vedením v rámci doktorského studia, za což jsem velmi rád a těším se na to.

Práce je psaná dobrou angličtinou, je dobře členěna, prezentovaný výzkum je dobře motivovaný v úvodních kapitolách, po formální a grafické stránce nemám k práci výhrady. Spolupráce se studentem byla velmi dobrá. Jevil o téma velký zájem, pravidelně konzultoval, nosil zajímavé výsledky a naslouchal mým doporučením pro další směřování práce. Zároveň přicházel s vlastními originálními myšlenkami a rovněž prokázal schopnost komunikovat s partnery s automotive businessu a zaujmout je, což vidím zejména s ohledem na budoucí doktorské studium jako velmi důležité a povzbuzující.

S ohledem na výše uvedené navrhuji klasifikovat předkládanou práci stupněm A-výborně.

V Praze dne 5.6.2018

.....

Doc. Ing. Martin Hromčík, Ph.D.
vedoucí diplomové práce

Posudek diplomové práce

Název práce:	**Unstable ground vehicles and artificial stability systems**
Autor:	**Denis Efremov**
Posudek vypracoval:	Ing. Martin Mondek, Porsche Engineering Services s.r.o.
Navrhované hodnocení:	**C – dobře**

Denis Efremov se ve své diplomové práci zabývá řízením nestabilních vozidel pomocí aktivního řízení natočení přední nápravy - tzv. steer-by-wire. Navržené řídící algoritmy mají vycházet ze známých řešení řízení letu pro nestabilní konfigurace letadel. V současné automobilové praxi platí, že většina vozidel má, zejména kvůli bezpečnosti pasažérů, nedotáčivé vlastnosti. Za vozidla nestabilní se pak považují ta, u nichž velmi snadno dochází k přetáčivému smyku. Řidičem ovládaný vstup do systému se student snaží ovlivnit jím navrženými algoritmy aktivního řízení natočení přední nápravy a potlačit tak přetáčivé vlastnosti vozidla.

V první třetině své práce student definuje základní principy dynamického systému. Z literatury přebírá jednostopý nelineární model vozidla spolu s jeho linearizovaným ekvivalentem. Definuje také množství zjednodušujících podmínek, které ve své práci aktivně využívá. Prezentované jednostopé modely jsou v praxi a literatuře již dlouho známé a jsou využívané zejména pro nižší rychlosti. Avšak jejich použití pro jízdu na hranici stability je téměř nereálné.

V druhé třetině diplomové práce student navrhuje několik řídících struktur pro sledování referenční hodnoty úhlové rychlosti otáčení vozidla kolem svislé osy (vehicle yaw rate), které zároveň doplňuje simulacemi. Student v simulacích dosahuje dobrých výsledků dokonce i pod vlivem různých poruch způsobených například nerovností vozovky či poryvy větru. U modelu poryvů větru však chybí informace o směru působení na vozidlo. Jako velký nedostatek této části považuji zcela chybějící informace o vypočítaném akčním zásahu regulátorů a porovnání těchto hodnot s původním zásahem řidičem (tedy se vstupním, neřízeným úhlem natočení volantu či předních kol).

V poslední části student prezentuje zavedení zpětné silové vazby a zabývá se otázkou eliminace zadního přítlačného křídla při použití aktivního řízení přední nápravy. Silová zpětná vazba je důležitá právě pro systémy steer-by-wire, kdy poskytuje řidiči haptickou informaci o vlastnostech vozovky a také vliv dynamické odezvy vozidla na řidičovu činnost. V diplomové práci student k výpočtu silové zpětné vazby využívá pouze závislosti na velikosti vratného momentu pneumatiky (self-aligning moment). Tento moment je však pro základní použití dostačující. Student dále využívá jím navržených algoritmů k eliminaci zadního přítlačného křídla. Tato část práce je prezentována jako teoretická idea, jejíž bližší prozkoumání může vést k výsledkům využitelným v praxi.

Diplomová práce je psána v anglickém jazyce a je přehledně strukturována. Předkládané výsledky jsou pouze teoretické. Pro jejich reálné nasazení je nutné tyto výsledky je nutno prozkoumat podrobnějšími simulacemi či experimentálními metodami.

Studentovi bych rád položil následující otázky:

- Použil jste pro řízení nestabilního automobilu nějaký konkrétní řídící algoritmus z oblasti řízení nestabilních letadel?

- Jaký konkrétní algoritmus používáte pro výpočet laterální síly F_{yr} v závislosti na síle gravitační F_{zr} a vztlakové F_l? (Strana 32, rov. 6.2)
- Jaká je závislost výsledného zpětného momentu generovaného na simulátoru na hodnotě odhadnutého vratného momentu pneumatiky? Jak fyzicky vypadá řídící soustava spojení předních kol a volantu, který se snažíte řidiči takto simulovat?

Shrnutí nejzásadnějších bodů hodnocení:

- Tato diplomová práce otevírá novou a z různých důvodů prozatím neprozkoumanou oblast řízení nestabilních vozidel za pomoci steer-by-wire systémů.
- Student navrhuje zajímavé a nekonvenční řešení řídicích systémů. Oceňuji zejména jeho návrh sledování reference úhlové rychlosti vozidla s kompenzací úhlu skluzu vozidla a úhlu skluzu všech pneumatik. Rudimentální řešení uvedená v diplomové práci jsou z velké části založena na idealizovaných podmínkách. Pro jejich případné nasazení v praxi je potřeba důslednějších simulací a reálných experimentů než těch, která jsou uvedena v této práci.
- V práci bych uvítal porovnání probíraných algoritmů řízení nestabilních vozidel se známými řešeními řízení letu nestabilních letadel.
- U simulací kompletně chybí porovnání akčního zásahu aktivních regulátorů s původní referencí vytvořenou chováním reálného řidiče. Neuvedení těchto výsledků velmi snižuje validitu výsledků dosažených v této práci.

Na základě výše uvedených argumentů navrhuji hodnocení

C – dobře

V Praze, 14. 6. 2018

Ing. Martin Mondek