

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Odhadování vybraných fyzikálních parametrů tramvaje v reálném čase relevantních pro palubní predikci zábrzdě dráhy
Jméno autora:	Petr Hrych
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	Doc. Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra řídicí techniky FEL ČVUT

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Podstatou zadání je poměrně standardní úloha odhadování pohybových stavů a některých fyzikálních parametrů reálného dynamického systému – v tomto případě tramvaje – s využitím existujících a osvědčených metod. Náročnost jinak průměrně náročného zadání byla nezamýšleně zvýšena nedostupností některých potřebných dat z reálného provozu tramvají (zejména měření akčního zásahu od řidiče potažmo elektrického proudu tekoucího motory) a nemožností realizovat další experimenty v důsledku koronavirových omezení.	
Splnění zadání	splněno
<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>	
Předložená práce splňuje zadání, třebaže některé úkoly jistě ještě nabízejí příležitosti pro vylepšení.	
Aktivita a samostatnost při zpracování práce	A - výborně
<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 samostatné tvůrčí práce.</i>	
Student byl při řešení projektu aktivní. Byl schopen i spolehlivě spolupracovat s jinými členy týmu zapojenými do stejného projektu. Konzultace sám pravidelně vyžadoval a byl na ně připraven. Snad někdy při rozhodování dílčích technických kroků mohl vykazovat trochu více rozhodnosti a samostatnosti – velmi často si nechával od vedoucího schvalovat i dílčí kroky.	
Odborná úroveň	B - velmi dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Studentem předložená řešení jsou funkční. U některých problémů jako například kompenzace offsetu při měření zrychlení kombinací měření z akcelerometru a GPS by jistě místo ad hoc postupů našly uplatnění systematické metody z oblasti odhadování a filtrace dynamických systémů jako je Kalmanova filtrace, třebaže uznávám, že absence informace o akčním zásahu činí použití těchto metod „neučebnicovým“.	
Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	B - velmi dobře
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Diplomová práce je psána solidně a srozumitelnou, třebaže ne dokonalou angličtinou. Vysázena je pomocí systému LaTeX v existující fakultní šabloně, což ji činí na první pohled velmi pohlednou. I přes doporučení vedoucí však příležitostně nedodržel některá doporučení týkající se sazby matematických vztahů (interpunkce u vzorců, vzpřímené versus skloněné druhy písma). Drobné neúplnosti se objevují v některých položkách v seznamu použité literatury. Žádná z těchto výhrad ale není zásadní, spíše jen vyjadřuje, že text práce měl ještě pár stupínek k dokonalosti.	

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.

Jakkoliv je seznam použité literatury poměrně krátký (17 položek), pro účely této spíše prakticky orientované práce zaměřené na používání již v knihách popsaných a v softwarových balíčcích implementovaných metod byl dostačující.

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 A NÁVRH KLASIFIKACE

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

S předloženou prací jsem velmi spokojen. Student předvedl schopnost samostatně řešit reálný inženýrský problém.

Snad jen některé z dílčích problémů mohly mít prospěch z použití některé ze systematických metod pro odhadování (estimaci) stavů dynamických systémů založené na modelu – kupříkladu ono odstraňování offsetu v měření zrychlení, jakkoliv uznávám, že absence měření vstupu činí takové použití nestandardním.

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

Datum: 22.6.2020

Podpis:

Posudek oponenta

Název diplomové práce:	Real-time estimation of some physical parameters of trams relevant for onboard prediction of braking distance
Autor diplomové práce:	Bc. Petr Hrych, České vysoké učení technické v Praze
Oponent:	Ing. Pavel Trnka PhD., Honeywell spol. s r.o.
Datum:	29. května 2020

Diplomová práce Petra Hrycha si klade za cíl navrhnout postup a algoritmy pro průběžný odhad parametrů modelu tramvaje pro predikci její brzdné dráhy.

Přístup k zadanému úkolu a způsob řešení

Diplomant nejprve vytvořil pohybový model tramvaje relevantní pro predikci brzdné dráhy. Tento model vyžaduje parametry, které jsou pro danou tramvaj v čase konstantní a parametry, které se při jízdě mění.

Konstantní parametry modelu jsou dány konstrukcí a geometrií tramvaje a je možné je odhadnout z off-line experimentálních dat. Klíčové časově proměnné parametry jsou pak hmotnost tramvaje, která se mění s počtem cestujících a koeficienty adheze, které jsou závislé na aktuálním stavu kolejí. Tyto parametry je třeba odhadovat průběžně. Do modelu také vstupuje poruchový signál, kterým je sklon tratě. Ten lze předpočítat z geografických podkladů.

Model má rozumnou složitost. V rovnici 2.10 nevhodně kombinuje výkon a krouticí moment, ale to nemá na funkčnost vliv.

Podstatnou částí diplomové práce je sběr telemetrických dat a jejich zpracování. Data byla současně sbírána z inerciální jednotky, z GPS modulu a z komunikačního modulu tramvaje. První úlohou zpracování dat je filtrace dat a výpočet signálů polohy, rychlosti a zrychlení. Uvedený postup by se dal nahradit vhodnější fúzí dat pomocí Kalmanových filtrů, což je pro pohybová data standardní úloha.

Dalším navrženým postupem je předpočítání sklonu kolejí na základě dostupných kartografických dat. V tomto kroku je důležitá vhodná filtrace dat. Místo použití kauzálních IIR filtrů by mi přišlo vhodnější použít nekauzální filtry jako například Savitzky-Golay, které nezkrusují tvar signálu a přímo poskytují derivaci.

Poměrně nešťastnou komplikací celé diplomové práce byla nedostupnost dat aktuálního výkonu motoru nebo alespoň data o aktuální poloze akcelerační páky. Diplomant navrhl postup jak tato chybějící data odhadnout pomocí faktu, že akcelerační páka má pouze několik poloh a v datech je zřetelná kvantizace zrychlení.

Dalším navrženým postupem je odhad koeficientů odporu vzduchu z vybraných úseků dat, kdy je akcelerační páka v neutrální poloze. Poslední kapitola popisuje odhad koeficientů pro krouticí moment akcelerační páky a odhad hmotnosti. Chyba odhadu hmotnosti v závislosti na délce okna je na obrázku 7.6. Ukazuje se, že s rostoucí délkou okna se chyba zvětšuje, což jak diplomant píše, znamená, že model není dostatečně přesný pro odhad hmotnosti a to hlavně díky chybějícímu výkonu motoru.

Rozsah realizace

Výsledkem práce je postup a algoritmy v Matlabu pro zpracování telemetrie z tramvaje pro účel odhadování parametrů modelu pro predikci brzdné dráhy. Vše je demonstrováno na off-line experimentálních datech.

V práci není dořešen průběžný odhad parametrů modelu adheze, který je pro odhad brzdné dráhy důležitý. Jsou v ní navrženy čtyři sady parametrů pro typické stavy kolejí od suchých až po namrzlé. On-line algoritmus by

mohl vyhodnocovat, který model je nejméně pravděpodobnější pomocí sady Kalmanových filtrů, což je poměrně robustní řešení, které se běžně používá.

Navržené odhadování hmotnosti tramvaje pomocí grey-box identifikace v Matlabu také není „real-time estimation“. Už třeba jenom kvůli tomu, že použitý příkaz System Identification Toolboxu nepodporuje Matlab Coder a cesta ke kódu pro cílovou platformu by ještě byla pracná.

Formální a jazyková úroveň práce

Diplomová práce je vypracována v angličtině – anglické formulace odpovídají standardům technických textů. Grafické zpracování, sazba a grafy jsou na velmi dobré úrovni.

Přehled dostupné literatury a relevantních zdrojů

Rozsah referencované literatury je skromný, ale pro zaměření práce dostatečný. Způsob citování odpovídá standardům.

Splnění zadání

Diplomová práce kombinuje praktické aktivity sběru experimentálních dat, jejich zpracování pro odhad konstantních parametrů modelu a návrhy algoritmů pro průběžné odhadování časově proměnných parametrů modelu. Díky obtížím se sběrem dat je stěžejní část práce věnována zpracování dat a řešení chybějících dat. Návrh algoritmů pro průběžné odhady parametrů je pouze rozpracovaný. Rozumným důvodem může být, že na dostupných datech bez chybějících signálů by zřejmě nefungoval. Z tohoto pohledu diplomová práce splnila zadání.

Návrh klasifikace

Vzhledem k výše uvedenému a ke kvalitě zpracování navrhuji klasifikaci „**A – výborně**“.

Datum: 29. května 2020 / Praha

Ing. Pavel Trnka, PhD.