

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Algoritmy pro palubní odhadování pohybových stavů vozidla pomocí multisenzorické fúze
Jméno autora:	Jakub Kašpar
Typ práce:	bakalářská
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>	
Zadání bylo spíše náročnější, protože vyžadovalo zvládnutí metod optimálního odhadování parametrů a stavů, které jsou vyučovány spíše až v magisterském studiu.	

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>	
Zadání bylo splněno.	

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 samostatně tvůrčí práce.</i>	
Student byl při práci na projektu velmi aktivní a iniciativní.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Velmi vysoká. S ohledem na pokročilost použitého aparátu optimálního odhadování a filtrace adekvátní k bakalářské úrovni studia.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	A - výborně
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Po formální stránce lze práci hodnotit velmi vysoce. Je psána česky a velmi srozumitelně, vysázena je v LaTeXu, matematické vztahy i obrázky dodržují běžné konvence. Rozsah adekvátní (cca 30 stran). Snad jen pár formálních komentářů k drobnostem, které jsem před odevzdáním přehlédl:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. I přes veškeré ocenění samostatnosti zde nechám zaznamenáno, že to současné používání hranatých závorek a dolních indexů pro vyjádření diskrétně-časového indexu vnímám jako zbytečně zesložitující. Proč místo $x_{[k]}$ ne pouze $x[k]$ nebo x_k, jak je to běžné v literatuře? 2. V LaTeXu je možné zvětšit závorky pomocí <code>\left(foo \right)</code>. Viz například (3.15). 3. V části práce je družicová navigace odkazována jako GPS, v části zase jako GNSS. 	

Výběr zdrojů, korektnost citací	A - výborně
<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>	

Kromě několika mnou dodaných klíčových zdrojů si student ještě našel několik dalších v odborné literatuře. Všechny jsou odcitovány podle běžných zvyklostí.

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.

K úrovni dosažených výsledků nemám coby vedoucí připomínky. Snad jen zde uvedu pár drobností, které jsem v textu nezachytil před odevzdáním, a to pouze s motivací na ně upozornit, aby se nepropagovaly dál.

4. U definice *lokálního souřadnicového systému* není zmíněno, kam je ukotven jeho počátek. S odkazem na zdroj, ze kterého autor čerpal, připomenu, že takové lokální tečné systémy jsou tam zmíněny dva: jeden je pevně zakotven k povrchu, počátek druhého je spojen s vozidlem.
5. Při zavádění pojmů *velocity random walk* a *angle random walk* autor uvádí, že jde o bílé šumy. Jakkoliv chápu kontext, tedy že první z nich je ve skutečnosti bílým šumem ovlivňujícím zrychlení a druhý bílým šumem ovlivňujícím úhlovou rychlost, přesto mi nepříjde šťastné formulovat to takto. Náhodná procházka se prostě nekvalifikuje jako bílý šum.
6. Matoucí pro čtenáře je podle mě model akcelerometru v rovnici (2.22). Zmatení pochází zjevně ze skutečnosti, že autor automaticky uvažuje zrychlení už pouze ve směru podélné osy vozidla. To by mělo být zdůrazněno. Takto to totiž vypadá, že pokud je lokální sklon zemského povrchu nulový a vozidlo je v klidu, akcelerometr bude (až na bias a šum) měřit nulu. Vhodnější by bylo zdůraznit, že akcelerometr zkrátka měří cosi zvané *specifická síla* a to není to stejné, co akcelerace, jejímž integrováním bychom získali rychlost a následně pozici. Nad to považují zavedení tíhového zrychlení g coby záporné hodnoty ($g = -9,81$) za docela nestandardní.
7. Není v modelu gyroskopu (2.24) překlep? Nemělo být tam být místo $b_g \omega$ jen b_ω ?

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Předloženou práci považuji za mimořádně kvalitní. Pro její odvedení musel student zvládnout koncepty a metody představované spíše až v magisterském studiu (optimální odhadování a filtrace). Ve své práci student prokazuje schopnost zvládnout pokročilé matematické metody a algoritmy, schopnost inženýrského vhledu do fyzikální podstaty řešeného problému, stejně jako schopnost rutinní programátorské práce s naměřenými daty.

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

Datum: 19.6.2023

Podpis:

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Algoritmy pro palubní odhadování pohybových stavů vozidla pomocí multisenzorické fúze
Jméno autora:	Jakub Kašpar
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Ing. Ivo Herman, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Herman elektronika

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Viz část Celkové hodnocení.	

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>	
Viz část Celkové hodnocení.	

Zvolený postup řešení	vynikající
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Viz část Celkové hodnocení.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Viz část Celkové hodnocení.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	B - velmi dobře
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Viz část Celkové hodnocení.	

Výběr zdrojů, korektnost citací	A - výborně
<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>	
Viz část Celkové hodnocení.	

Další komentáře a hodnocení	
<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>	
Viz část Celkové hodnocení.	

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.

Bakalářská práce Jakuba Kašpara se zabývala odhadem pohybového vozidla (tramvaje) z nepřesných senzorů. Pro většinu z typů senzorů (akcelerometr, gyroskop i odometrie) byl vytvořen chybový model senzoru a tento byl i (do jisté míry) identifikován. Získané modely se pak použily v rozšířeném Kalmanově filtru (EKF) pro odhad stavu vozu. Samotná schopnost odhadu byla ověřena jak na celkem komplexní simulaci, tak na skutečných datech. Zadáání BP tak bylo splněno.

Téma bakalářské práce je komplexní a vyžaduje porozumění látce, která není běžnou součástí bakalářského studijního programu (a někde dokonce ani magisterského). Dle předložené práce se zdá, že student problematice porozuměl a dokázal s ní pracovat tak, aby dosáhl svého cíle. Jak při identifikaci modelů senzorů, tak i při samotném ověření funkčnosti EKF simulace potvrzují, že parametry byly určeny smysluplně a že celý postup funguje. Některé poznámky v práci navíc ukazují, že student si dokázal poradit s praktickými problémy (např. simulace odometrie pomocí pulzů). Student také prokázal dobrou práci s literaturou a odkazy na ni jsou v práci smysluplně použity.

Samotná práce je napsána tak, že umožňuje pochopit, co student řešil, jakými metodami a s jakým výsledkem. Struktura kapitol je logická a dobře na sebe navazují. Celkově lze styl psaní práce hodnotit jako velice dobrý. I přesto by mohly být některé prvky v rovnicích popsány detailněji (např. často používané τ u Allanovy odchylky, které není nikde vysvětleno, ačkoliv hraje podstatnou roli v další práci).

Vzhledem k celkovému rozsahu práce je následující připomínka nepodstatná (autor se nemohl věnovat všemu), ale přesto bych ji rád uvedl: jediný senzor pozice (GNSS) je v práci jaksi upozaděn (nemá uvedený model, určenou chybu měření, ani není řečeno, jak se s ním pracovalo). Přesto je ze zpracování reálných dat zjevné, že má např. naprosto zásadní vliv na zhoršení výsledků při stání v zastávkách. Když se autor zabýval primárně lokálními senzory (IMU a odometrie), uvítal bych, kdyby byl uveden odhad např. rychlosti a ujeté vzdálenosti v situaci, kdy by vůbec nebylo použito GNSS.

Dotazy k práci:

- 1) Pro simulování jízdy tramvaje po trati linky 7 byl použit Automated Driving Toolbox. Aniž bych měl jakékoliv zkušenosti s tímto toolboxem, zajímalo by mě, jak je použitelný pro simulaci jízdy tramvaje. Její chování je, např. v zatáčkách, asi trochu jiné než u osobního vozidla. Dotazy tedy zní:
 - a. Byly nalezeny nějaké podstatné rozdíly při porovnání skutečného jízdního profilu a simulovaného?
 - b. Pokud byly, lze je připsat jen nějakému nemodelovanému jevu (např. okolní vozidla), nebo se může jednat o rozdíl v chování tramvaje a vozu?
- 2) Pro simulaci reálné jízdy by mě zajímalo, jaká byla uvažována chyba měření z GNSS. Dle mých zkušeností s GNSS přijímači nižších kategorií (levnějších) je docela problém získat v daný moment přesnost odhadu pozice v metrech ("confidence ellipse").
 - a. Jakým způsobem autor práce tuto přesnost získal či s jakou pracoval?
 - b. Byla uvažovaná přesnost (odchylka GNSS) u reálných dat konstantní, nebo autor pracoval s hodnotou proměnnou (získanou z GNSS)?
- 3) U reálné testovací jízdy je jasné, že je velice obtížné získat skutečnou polohu vozu v daný čas. Toto je ale možné při stání v zastávkách, kde se snad dá pozice určit docela přesně.
 - a. Je k dispozici nějaké porovnání přesnosti pozice při stání v zastávce?

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



POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Datum: 9.6.2023

Podpis: