

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Automatické zarovnání palubní inerciální měřicí jednotky z naměřených dat
Jméno autora:	Automatic alignment of an onboard IMU using measured data
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, a to ze dvou důvodů: 1) vyžadovalo samostatné nastudování metod odhadování dynamických systémů, které jsou ve studijním programu KyR vyučovány až v magisterském studiu, 2) zadání bylo motivováno reálným problémem s reálnými změřenými daty, a takové nebyvají nejpříjemnější příležitostí pro vstup do dané problematiky.	

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 práce považuji za splněné bez výhrad. Jen snad pro úplnost uvedu, že pro reálné nasazení metody na oněch stovkách vozidel by bylo nutné ještě zapracovat na větší míře automatizace a robustnosti. V rámci bakalářské práce to však asi zvládnout nešlo.	

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>	
Jednou z klíčových vysokých kvalit této práce je vysoká míra samostatnosti a zodpovědnosti studenta. Byl schopen si současně nechat poradit, a současně si sám vyhledat a nastudovat potřebné zdroje. V tomto ohledu naprosto dokonalý student a pro někoho v budoucnu jistě dokonalý člen týmu.	

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>	
Práce je na vysoké odborné úrovni. Ještě jednou ale zdůrazním, že student si v rámci řešení projektu musel sám nastudovat velmi pokročilou látku z magisterského studia (metody Kalmanovského odhadování pro nelineární systémy), a tak některá řešení vykazují známky prvotního použití nově naučené metody. Ale v rámci bakalářské práce více než dostačující. Práce rozhodně představuje kvalitní, použitelný výsledek, na kterém je možné při řešení reálného problému dále stavět.	
Ať aspoň některé věcné výhrady zůstanou zaznamenány, uvedu zde, že spoléhání se na údaje o přesnostech odhadů, které poskytuje přijímač GNSS, má své slabiny. Takové odhady totiž jsou – ač to výrobce uBlox nijak nezdůrazňuje – výrazně optimistické. Popisují vlastně jen tu „clean sky“ situaci, a tedy vůbec neupozorní na výrazně zhoršenou kvalitu odhadů v městské zástavbě, kdy dochází k odrazům a „vícenásobným cestám“, odhad pozice je chybný o několik metrů a přitom poskytovaná směrodatná odchylka je klidně i jen pár centimetrů. Toto není kritika práce, je to skutečnost, která pro nás ostatní byla taky překvapivá, uvádím ji tady pro úplnost.	
Taký si nakonec nejsem jistý, zda pro čtenáře bude srozumitelný popis, jak byla získána matice Q v (6.19) v návaznosti na dříve uvedenou matici v (6.17). Toto mi při čtení draftu uniklo.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

A - výborně

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce je (z rozhodnutí mě coby vedoucího) psaná českým jazykem, aby odpadla ona častá nutnost při hodnocení přemýšlet nad původem nejasnosti některých vyjádření. Tedy můžu prohlásit, že ve svém mateřském jazyce se student vyjadřuje velmi srozumitelně a jednoznačně, stručně a přitom výstižně.

Místy se objevují neobratné výrazy (při čtení draftu mi unikly) jako „plošné složky síly“ na straně 34, jejichž smysl však lze v kontextu pohodlně odhadnout. Pro úplnost taky upozorním na jazykovou drobnost: 6. pád množného čísla slova měření je měření (popisek obrázku 7.9 i text pod rovnicí 4.14 a možná i jinde). V rovnici (6.8) má ve jmenovateli jistě být norma. Považuji to za překlep (či spíše „nedoklep“).

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.

Bez výhrad. Student předvedl schopnost práce jak s klasickými zdroji typu anglicky psané odborné monografie a odborného článku, tak i se závěrečnými pracemi studentských kolegů (v práci na ně navazuje). Snad jen pro úplnost (a poučení do budoucna) uvedu, že při generování bibliografie zjevně nelze spoléhat na schopnost použitého nástroje Zotero stáhnout si všechny údaje automaticky. U položek [SHA15] a [Sim06] v seznamu literatury tak chybí podstatné údaje. U prvního časopisu či konference, u druhého vydavatel. Při prohlížení draftu práce jsem to přehlédl.

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.

Na konci strany 29 je zmínka o použití kvaternionů. Vůbec není jasné, jaká je jejich role v práci. Vždyť pro popis orientace byly použity Eulerovy úhly.

Na straně 35 je zmíněna numerická derivace měření rychlosti získaného přijímačem GNSS. Není jasné, zda onen název `diff()` je pouze symbolickým názvem pro nějakou nejmenovanou proceduru, nebo zda je tím zamýšlena stejnojmenná funkce v Matlabu. Ta počítá pouze rozdíl každé hodnoty v řadě od té nejbližší předchozí (zpětná diference). Počítat však derivaci naměřených dat tímto způsobem je numericky velmi nespolehlivé. Existují daleko lepší způsoby, tím spíše, že výpočet je možno provádět offline.

V práci jsou používány dva různé symboly pro vyjádření přibližné rovnosti: \approx a \doteq . Jistě by stačil jen jeden.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Špičková bakalářská práce vyžadující jak zvládnutí pokročilých metod odhadování, tak i zručnost při práci s experimentálními daty. Práce je i velmi kvalitně zdokumentovaná. Bylo mi potěšením takovou práci vést.

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

Datum: 2.2.2024

Podpis:

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Automatické zarovnání palubní inerciální měřicí jednotky z naměřených dat
Jméno autora:	Antonín Melenovský
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 Antonína Melenovského se zabývala automatickým odhadem orientace senzorů inerciální měřicí jednotky (IMU) vůči orientaci vozidla. Odhad této orientace byl v souladu se zadáním připraven ve své „offline“ variantě, tedy jako post-processing naměřených dat. Autor představil dvě metody pro odhad orientace. První je dvou kroková metoda využívající známý stav vozidla (stojí, jede rovně), druhá je odhad orientace spolu s kompletním odhadem stavu vozu pomocí varianty Kalmanova filtru. Oba algoritmy byly odladěny a úspěšně ověřeny jak na simulovaných datech, tak i na datech reálných. Součástí práce byla i tvorba simulovaného scénáře. Zadání BP tak bylo splněno.

Téma práce je komplexní a způsob realizace vyžadoval porozumění problematice, která není běžnou součástí bakalářských studijních programů. Dle předložené práce se zdá, že autor látce porozuměl a dovedl ji úspěšně aplikovat, včetně vysvětlení chování algoritmů v určitých situacích. Tím, že oba algoritmy na reálných datech fungují, student prokázal schopnost převést algoritmy uvedené v literatuře do funkční podoby. Literární zdroje jsou vhodně zvolené. Také oceňuji snahu zveřejnit kód v programu Matlab, ke kterému bohužel nemám přístup (vyžaduje přihlášení).

Samotná práce je napsána tak, že umožňuje pochopit, co autor 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. V práci jsou drobné nepřesnosti, které ale nesnižují čitelnost textu (např. prohozené značení „platná hodnota/outlier“ na všech obrázcích v části 7).

Oceňuji, že autor vhodným způsobem uvádí svůj vlastní přínos a zasazuje svou práci do kontextu práce realizované v kolektivu studentů. Také je v pořádku, že převzal existující model z jiné BP a rozšířil jej o části potřebné ke svému problému.

Ačkoliv je z práce zřejmé, že algoritmy fungují, uvítal bych více detailů v části 7 – Ověření funkčnosti, a to jak na simulovaných datech, tak zejména na datech reálných. Chybí mi například porovnání odhadu stavu vozu z IEKF vůči měření (chápu ale, že ground-truth data jsou nedostupná). V příloze C jsou totiž uvedena jen skutečná měření, nikoliv odhad jakožto výstup algoritmů.

Dotazy k práci:

- 1) Pokud jsem práci správně pochopil, pro ověření funkčnosti algoritmů byla použita reálná data z jednoho vozu. Jak těžké je použít algoritmus pro jiný vůz s jinou sadou dat? V zadání BP je uvedeno, že algoritmus má být použit na velkém množství vozů. Bylo by tedy vhodné, aby autor při obhajobě ukázal odhad pro jiný vůz (pokud má data), včetně uvedení časové náročnosti získání takové přípravy odhadu a kroků, které musel provést pro odladění.
- 2) Bylo by možné zpřístupnit zdrojový kód v Matlabu veřejně?
- 3) Vzhledem ke schopnosti IEKF odhadovat celý pohybový stav vozu bych uvítal porovnání nejen odhadu stavu (to bylo cílem práce), ale i odhadu stavu dalších veličin (např. akcelerace vs. rychlost). Bylo by vhodné, aby autor při obhajobě podobné porovnání ukázal. Autor sám uvádí v části 7.4.1, že akcelerace je v době stání vozidla přibližně nulová, ale tuto skutečnost neilustruje obrázkem.

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

Datum: 29.1.2024

Podpis: