

POSUDOK OPONENTA DIZERTAČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko doktoranda: Ing. Lenka TEJMLOVÁ
VUT Brno
Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií
Ústav radioelektroniky

Téma práce: Neural Networks in Inertial Navigation Systems
(Neuronové sítě v inerciálních navigačních systémech)

Školitel práce: doc. Ing. Jiří ŠEBESTA, PhD.

Oponent práce: doc. Ing. Ján OCHODNICKÝ, PhD.
Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika
Liptovský Mikuláš

Koniec 2. desaťročia 21. storočia je okrem iného možné charakterizovať ako obdobie hľadania nezávislých alternatív k závislým globálnym satelitným navigačným systémom (ďalej len „GNSS“). Až príliš si zvykáme na pohodlné využívanie GNSS, a často si ani neuvedomujeme ich nedostatky. Vyvíjajú sa stále nové a nové technológie a aplikácie, ktoré sú bezprostredne závislé na využití už tak závislých GNSS. Prirodzene sa preto vynárajú otázky typu „čo v prípade nedostupnosti GNSS?“, „čo v prípade použitia klamných signálov GNSS?“, alebo „čo v prípade rušenia GNSS?“ a podobne. Jednou z odpovedí na takéto otázky je použitie moderných inerciálnych navigačných systémov (ďalej len „INS“) na báze MEMS. Vzhľadom na vedeckovýskumné aktivity vo svete, zamerané na senzory a INS je možné zameranie dizertačnej práce považovať za **vysoko aktuálne**.

Vo všeobecnosti treba povedať, že výskum v oblasti INS je možné rozdeliť na dve kategórie: výskum technológií senzorov a výskum spracovania signálov. Tieto dve kategórie sa navzájom prelínajú a determinujú. Dizertačná práca je zameraná do oblasti spracovania signálov senzorov INS a má ambíciu aplikovať prvky umelej inteligencie, konkrétne umelé neurónové siete (ďalej len „ANN“) do procesu spracovania dát a odhadu polohy INS. Treba povedať, že aplikovanie ANN do spracovania signálov je v súčasnosti možné považovať za štandard napriek tomu, že ešte stále je pre nás ANN do určitej miery „black box“. Každá aplikácia ANN je preto svojim spôsobom jedinečná a potvrdzuje to aj predmetná dizertačná práca. Vzhľadom na uvedené skutočnosti je možné tému dizertačnej práce považovať za **dizertabilnú** s predpokladaným originálnym prínosom.

Autorka dizertačnej práce v rozsahu 112 tlačенých strán a elektronickej prílohy zameriava na základný problém inerciálnej navigácie - nárast chyby navigácie s časom a jej minimalizácia. Po úvode je v druhej kapitole popísaný aktuálny stav výskumu v oblasti INS, pričom autorka hneď logicky sústreďuje pozornosť na možnosti ANN a metód odhadu stavu na báze Kalmanovho filtra (ďalej len „KF“) v procese spracovania údajov inerciálnych senzorov.

V tretej kapitole práce sú uvedené ciele a metódy práce. Ako hlavné ciele prácu sú uvedené ciele, zamerané na riešenie problému kvality (presnosti) navigácie v prípade stacionárnych a mobilných systémov s podporou ANN a systému odhadu stavu na báze KF. Vedecké výskumy, v ktorých dochádza ku kombinovaniu vlastností ANN a KF sú dostatočne známe, avšak ich výsledky nie sú vždy jednoznačné a použiteľné. Návrh tzv. „ad-hoc“ metód je preto legitímny a takto treba chápať aj uvedené ciele práce. Pochopiteľným cieľom je taktiež príslušný návrh hardvéru a softvéru a vykonanie experimentálnych meraní. Konštatujem, že ciele a metódy dizertačnej práce sú jasné, zrozumiteľné a realistické.

Jadrom práce sú 4. až 8. kapitola. V štvrtej kapitole je popísaný experimentálny hardvér a softvér inerciálnej meracej jednotky (ďalej len „IMU“), na ktorom sú vykonané

základné experimentálne merania s cieľom získania dát pre riešenie ďalších úloh. Autorka v prílohe uvádza technické charakteristiky jednotlivých prvkov IMU. K tejto časti nemám pripomienky.

V piatej kapitole je po stručnej teórii ANN riešený problém návrhu vhodného typu a štruktúry neurónovej siete. Otázka optimalizácie štruktúry a parametrov neurónov ANN je veľmi zaujímavá a neustále je predmetom diskusií. Autorka analyzuje rôzne varianty aktivačných funkcií a ANN. V závere je prijaté rozhodnutie o výbere vhodnej ANN pre spracovanie dát, ktorá produkuje rozhodnutie o stave IMU. K obsahu piatej časti nemám pripomienky.

V úvode 6 kapitoly sú definované zásadné problémy spracovania dát. Tieto problémy sú postupne riešené metódami spracovania pomocou ANN a KF a načrtnuté je využitie niektorých ďalších typov filtrov. Problém je analyzovaný a popísaný veľmi kvalitne.

Hlavnou náplňou siedmej kapitoly je implementácia IMU typu „strapdown“ a jej využitie pre sériu experimentálnych meraní. Sú tu popísané hlavné softvérové prvky a ich aplikovanie v navrhovanom systéme spracovania dát.

Na overenie predkladaných metód a vykonanie experimentálnych meraní bolo definovaných päť typických situácií. Jednotlivé situácie a výsledky meraní sú popísané v ôsmej kapitole. Výsledky každej meranej situácie sú podrobené analýze formou grafov a tabuliek. K vykonaným experimentom a ich výsledkom nemám zásadné pripomienky.

Aj keď je problematika využitia ANN v INS pomerne populárna a vo svete publikovaná na rôznych úrovniach, metódy, prostriedky a postupy, popísané v 4 až 8 kapitole považujem za originálne, vysoko erudované a vedecky hodnotné. Za **pôvodný vedecký prínos dizertačnej práce** považujem návrh umelej neurónovej siete na predspracovanie dát IMU pre ich ďalšie spracovanie v systéme odhadu stavu.

K uvedeným výsledkom a hlavným častiam dizertačnej práce mám nasledujúce otázky:

1. V častiach 5.1 a 5.2 je popísaný proces definovania štruktúry a tréningu ANN a následne je prijaté rozhodnutie o štruktúre ANN. Môžete v stručnosti vysvetliť optimalizačné kritériá pre definovanie typu a štruktúry ANN.
2. Na str.71, obr.6.8 je záznam biasu gyroskopu v kludovom stave. Podobne sú uvedené výsledky pre akcelerometer. Do akej miery je Vami popisovaná kalibrácia a definovanie stavu „still“ reálne? Ide o univerzálne riešenie, alebo je to riešenie „ad-hoc“?
3. Aké opatrenia z pohľadu vstupných dát je potrebné prijať, aby nedochádzalo k divergencii Kalmanovho filtra pri vysokej dynamike navigovaného systému?
4. Môžete definovať nejaké fyzikálne limity pre Vami navrhovaný systém, pri ktorých spracovanie dát zlyhá?

Dizertačná práca je napísaná v anglickom jazyku a obsahuje celkom 49 bibliografických odkazov na citácie (vrátane troch autocitácií), z ktorých je väčšia časť (25) z obdobia posledných 10 rokov. K jazykovej a formálnej úprave práce nemám zásadné pripomienky.

Autorka publikovala podľa listu s bodovým hodnotením tvorivých aktivít doktoranda celkom sedem prác v kategóriách C a D. Štruktúra a obsah publikovaných prác je vo vzťahu k obsahu dizertačnej práce **dostatočná** a dokazuje, že sa jedná o uchádzačku **s požadovanou vedeckou erudíou**.

Dizertačná práca **zodpovedá všeobecne uznávaným požiadavkám** a odporúčam po úspešnej obhajobe autorke udeliť akademický titul PhD.

Dátum: 03.05.2018

Podpis: 