

## **OPONENTSKÝ POSUDOK dizertačnej práce**

Autor dizertačnej práce: **Ing. Martin Veselý**

Názov dizertačnej práce: **Adaptivní metody pro řízení hydraulických systémů**

### **1. DOSIAHNUTIE CIEĽOV DIZERTAČNEJ PRÁCE**

V práci sú stanovené tri hlavné ciele, ktorými sú:

1. Vytvorenie nového zrýchleného algoritmu učenia pre regulátory s referenčným modelom s využitím HONU
2. Vytvorenie postupu adaptácie riadenia a korektného učiaceho sa algoritmu
3. Zostavenie regulátoru so zvýšenou rýchlosťou učenia pre riadenie hydraulického lisu.

Je možné konštatovať, že uvedené ciele boli v práci naplnené. V práci je navrhnuté riadenie typu MRAC a MPC s využitím HONU pre aproximáciu riadeného systému, ako aj regulátorov v oboch prístupoch riadenia (prvý cieľ). Osobitne je odvodený učiaci GD algoritmus pre adaptáciu váh v oboch vyššie uvedených prípadoch, čím je naplnený druhý cieľ. Vo finálnej časti práce je navrhnuté riešenie testované na reálnom hydraulickom systéme.

### **2. ÚROVEŇ ROZBORU SÚČASNÉHO STAVU**

V práci je uvedených citovaných celkovo 65 zdrojov, z čoho pripadá 10 na práce autora. Citované zdroje sú relevantné vo vzťahu k téme dizertačnej práce a rešeršná časť poskytuje zaujímavý prehľad o riešenej problematike, vrátane uvedenia zhodnotenia danej práce v kompaktnej forme. Je možné konštatovať, že rešeršná časť je pre samotnú prácu hodnotne spracovaná, počet citovaných zdrojov (a predovšetkým najnovších prác) mohol byť o niečo vyšší.

### **3. TEORETICKÝ PRÍNOS DIZERTAČNEJ PRÁCE**

Práca je založená na využití známych, a v praktických aplikáciách dobre overených prístupoch riadenia, ktorými sú MRAC a MPC. Hlavným prvkom odlišujúcim prácu od predtým využívaných prístupov je aplikácia HONU a fuzzy HONU vo forme modelu riadeného systému ako aj regulátorov. Pre proces adaptácie váh je navrhnuté využitie relatívne jednoduchého učiaceho algoritmu (NGD), ktorý umožňuje efektívnu implementáciu vo výpočtových jednotkách s nižším výkonom. Pre uvedené metódy práca obsahuje kompletne odvodenie relevantného matematického aparátu, vrátane odvodenia modifikovanej kriteriálnej funkcie ako aj ISS stability uzavretého regulačného obvodu. Z tohto hľadiska je možné považovať dizertačnú prácu za veľmi prínosnú, keďže HONU patria k menej rozšíreným modelom, avšak s viacerými výhodnými vlastnosťami.

#### **4. PRAKTICKÝ PRÍNOS DIZERTAČNEJ PRÁCE**

V súvislosti s vyššie uvedeným teoretickým prínosom práce bolo hlavným praktickým prínosom práve overenie teoreticky odvodených prístupov MRAC a MPC s využitím HONU a fuzzy HONU pre riadenie hydraulického systému (hydraulický lis). V práci autor dobre zdôvodňuje dôvod volenia adaptívnych metód riadenia pre takýto typ systémov - niektoré z nich sú ťažšie testovateľné v rámci experimentov, preto je nosnou formou overenia simulácia. Simulácie a podmienky testovania sú navrhnuté veľmi dobre, a vhodne približujú možné podmienky v praktickej aplikácii (napr. pôsobenie porúch, hysteréza, zmena statického zosilnenia a pod.). Samotné odvodenie ISS stability uvedené v teoretickej časti práce je samozrejme významné aj pre praktickú aplikáciu metód. Jedným z najvýznamnejších prvkov praktického prínosu je realizácia experimentu navrhnutého prístupu riadenia na reálnom hydraulickom zariadení vo firme.

#### **5. VHODNOSŤ POUŽITÝCH METÓD A SPÔSOB AKÝM BOLI APLIKOVANÉ**

V práci autor zvolil dva známe prístupy riadenia, a to MRAC a MPC, pričom v nich použil nekonvenčné modely typu HONU a fuzzy HONU. Práca je orientovaná na použitie adaptívnych metód pre riadenie hydraulických systémov, v súvislosti s čím možno hodnotiť metódy ako vhodné. MRAC a MPC sú v praxi preverené a efektívne prístupy, ktoré je možné aplikovať pre široké spektrum systémov. Voľba HONU a fuzzy HONU či už pre aproximáciu dynamiky riadeného systému alebo ako regulátorov je zaujímavá, a v porovnaní s častejšie využívanými MLP prináša niekoľko výhod – veľmi silnou sa javí napr. linearita v parametroch, ktorá je významná z optimalizačného hľadiska. Rovnako významná je analýza možnosti aplikácie paralelného resp. sériovo-paralelného referenčného modelu v aplikovaných metódach, pričom voľba SPRM je v práci dobre zdôvodnená. V súvislosti s vyšetrením stability bola zvolená ISS metóda, ktorá je odvodená pre rekurentnú HONU pomocou metódy DDHS. Táto metóda sa pre dané podmienky javí ako vhodná, a uvedené odvodenie umožňuje jeho (relatívne) jednoduchú aplikáciu v simulácii resp. v reálnom systéme.

#### **6. FORMÁLNA ÚROVEŇ**

Z formálneho hľadiska je práca napísaná na veľmi dobrej úrovni. Obsahuje relatívne malý počet jazykových nedostatkov, prevažne vo forme preklepov. Z hľadiska odborného vyjadrovania neobsahuje závažné pochybenia, a teda spĺňa nároky kladené na prezentáciu vedeckých prác vysokej úrovne. Grafická úprava je rovnako na veľmi dobrej úrovni, všetky zobrazené priebehy a schémy sú veľmi prehľadné a dobre čitateľné. Práca je štruktúrovaná logicky, začínajúc rešeršou a cieľmi a pokračujúc teoretickým odvodením a simuláciami. Niekoľko poznámok k samotnému spracovaniu:

1. Na viacerých miestach sa objavujú nesprávne uvedené skratky HONU modelov (v podobe HUNU)
2. V niektorých prípadoch absentuje popis y osí priebehov
3. Je vhodné aby pri každom matematickom odvodení boli symboly použité v rovniciach uvádzané okamžite (napr. pohybová rovnica lineárneho hydromotora v časti 5.2)

## 7. OTÁZKY A POZNÁMKY

1. Domnievam sa, že argumentácia pre používanie HONU mohla byť v práci uvedená skôr – teda v samotnom úvode - keďže v práci sa s týmto druhom modelov pracuje prakticky od začiatku, pričom však názov práce nenaznačuje ich preferenciu.
2. Napriek rozsiahlym a veľmi dobre pripraveným simuláciám je časť venovaná samotnej identifikácii reálneho systému a experimentom na ňom výrazne stručnejšia. Zaujímavým by bolo napr. porovnanie kvality regulácie dosahovanej pri použití klasických metód (vrátane využitia v práci spomínaných elektronik pre riešenie problémov s hysterézou) a navrhnutých prístupov. Predpokladám však, že možnosti experimentov mohli byť obmedzené ich realizáciou vo firemnom prostredí. Táto skutočnosť však z môjho pohľadu nijako neznižuje žiaden z prínosov samotnej práce.
3. Na základe simulácií autor zistil, že pre riadenie zvoleného systému v skutočnosti postačuje lineárny regulátor, s tým, že zlepšiť kvalitu reguláciu je možné adaptáciou váh. Čím si autor vysvetľuje túto skutočnosť? Je možné, že by sa uspokojivá kvalita regulácia dala dosiahnuť ešte jednoduchšími metódami, napr. gain schedulingom?
4. V časti 5.1 autor používa rozšírenie kriteriálnej funkcie, ktoré je podľa uvedených obrázkov vcelku zásadné pre zlepšenie kvality regulácie. Podľa môjho názoru však nie je toto rozšírenie vo vzťahu k uvedenému zlepšeniu dostatočne dobre vysvetlené. Mohol by autor priblížiť v čom spočíva hlavný význam tohto rozšírenia a jeho dopad na výrazné zlepšenie kvality regulácie?
5. Na základe čoho bol odvodený referenčný model uvedený v Tab.6?

## 6. ZÁVER

Na základe celkového zhodnotenia je možné jednoznačne konštatovať, že autor práce preukázal znalosti v danom odbore a predložil prácu, ktorá sa vyznačuje vysokou kvalitou a prínosom na teoretickej ako aj praktickej úrovni. Práca je hodnotným príspevkom k oblasti adaptívnych metód riadenia s využitím výpočtovej inteligencie, a preto prácu

**odporúčam k obhajobe**

V Prešove dňa 14.5.2021

doc. Ing. Alexander Hošovský, PhD.

oponent