

Oponentský posudok dizertačnej práce

Meno doktoranda: *Ing. Radek Beňo*

Názov dizertačnej práce: **Distributed Identification of Nonlinear Systems using Regularization**

Predložená dizertačná práca v rozsahu 109 strán textu a obrázkov je napísaná v anglickom jazyku a venuje sa problematike identifikácie nelineárnych systémov v ustálených stavoch. Navrhuje rozložený prístup, ktorý rozkladá pôvodný nelineárny systém na rad jednoduchších komponentov, pre ktoré dizertand vytvára vlastnú metodiku regularizácie, prinášajúcu predovšetkým lepšiu numerickú stabilitu a podmienenosť celkovej úlohy identifikácie rozloženého systému. Vhodnosť tejto techniky rozkladu práca ilustruje na úlohe správnej kalibrácie parametrov jednotlivých komponentov vyšetrovaného nelineárneho systému pre namerané ustálené stavy. Z pohľadu súčasných vývojových trendov v oblasti identifikácie nelineárnych systémov ide dnes o aktuálnu úlohu, ktorá zaručuje, že vzniknutý model bude dobre numericky podmienený a pritom nestratí svoju fyzikálnu interpretáciu, či už máme na mysli hodnoty jednotlivých kalibrovaných parametrov, alebo správny vývoj jednotlivých signálov (i vnútorných) rozloženého systému. Prezentované návrhy a riešenia sú interpretované na príklade kalibrácie parametrov nelineárneho strednohodnotového modelu dieselového spaľovacieho motora.

Dizertačná práca obsahuje osem kapitol. Prvá kapitola je motivačná a predkladá hlavné ciele práce. Druhá kapitola pojednáva o základoch identifikácie nelineárnych systémov, o úlohe kalibrácie ich parametrov a popisuje rozloženú optimalizačnú metódu pre riešenie úlohy nelineárnych najmenších štvorcov s obmedzeniami. Tretia kapitola je venovaná (známym) teoretickým základom strednohodnotového modelovania hlavných komponentov spaľovacích motorov s preplňovaním. Počnúc štvrtou kapitolou sú už formulované vlastné prínosy predkladané doktorandom, či už ide o pojem regularizácie komponentov a metodiku jej konkrétneho riešenia, o návrh algoritmov optimalizácie pre rozloženú kalibráciu v ustálených stavoch v piatej kapitole, alebo o formuláciu konkrétneho strednohodnotového modelu uvažovaného dieselového motoru s preplňovaním v šiestej kapitole. Siedma kapitola je potom venovaná dosiahnutým výsledkom kalibrácie uvedeného modelu motora na danej množine ustálených stavov a ôsma záverečnému zhodnoteniu výsledkov dosiahnutých dizertantom v práci, s náčrtom možných smerov ďalšieho pokračovania výskumu.

Aktuálnosť zvolenej témy

Zvolená téma dizertačnej práce je v oblasti modelovania nelineárnych systémov nepochybne veľmi aktuálna a predkladá praktickú metodiku kalibrácie nelineárnych systémov v ustálených stavoch pri zabezpečení dobrej numerickej podmienenosťi úlohy a jej fyzikálneho obsahu. Vytvára nutné predpoklady a východiská pre nadväzujúce modelovanie i dynamiky systému. Z tohto hľadiska je téma práce jednoznačným prínosom a svojimi pôvodnými výsledkami prispieva k hľadanju nových účinných praktických riešení v tejto oblasti.

Splnenie cieľov dizertačnej práce

Ciele, zámery a motivácia dizertačnej práce sú podrobne a jasne stanovené v prvej kapitole dizertačnej práce. Ich spoločným znakom bolo študovať a analyzovať numerické problémy vznikajúce v procese kalibrácie parametrov nelineárnych systémov, analyzovať možné techniky regularizácie pre zlepšenie stability a podržanie fyzikálnej opodstatnenosti identifikovaných parametrov a signálov. Demonštrovať navrhnutú metodiku kalibrácie na konkrétnom strednohodnotovom modeli dieselového spaľovacieho motora s preplňovaním. Možno jednoznačne konštatovať, že postavené ciele a zámery práce boli dizertantom v plnej miere naplnené a v potrebnom rozsahu i prakticky overené na konkrétnych modeloch motora.

Zvolené metódy spracovania

Pri plnení stanovených cieľov práce si dizertant vybral dnes už klasické postupy a metódy v oblasti riešenia optimalizačných úloh využívajúce niektoré prednosti pôvodnej a duálnej formulácie riešeného optimalizačného problému. Prezentuje distribuovaný optimalizačný algoritmus, ktorý rozkladá pôvodnú úlohu na rad jednoduchších úloh, riešených vždy len pre jeden konkrétny ustálený stav. Použité prístupy zodpovedajú zámerom a postaveným cieľom práce a je možné ich považovať za primerané a postačujúce.

Výsledky dizertačnej práce a prínosy pre ďalší rozvoj vedy a techniky

Výsledkom práce je návrh a overenie pôvodnej metodiky riešenia identifikácie - kalibrácie parametrov nelineárnych systémov v ustálených stavoch založenej na použití metód numerickej optimalizácie. Konkrétné prínosy autora práce možno formuľovať nasledovne:

- návrh pôvodného postupu pre zavedenie regularizácie komponentov rozloženého modelu nelineárneho systému umožňujúcej eliminovať numerické problémy v procese kalibrácie parametrov z ustálených stavov,
- návrh metodiky zavedenia voľných premenných a dodatočných obmedzení aplikovaných v optimalizačnom procese za účelom udržania vnútorných signálov a vektora parametrov v procese kalibrácie vo fyzikálne korektných oblastiach,
- overenie navrhnutého procesu kalibrácie parametrov na viacerých prípadoch strednohodnotového modelu dieselového, alebo zážihového motora z meraní v ustálených stavov na motorovej skúšobnej stolici s dynamometrom.

Poznámky, pripomienky a otázky k práci

Práca po formálnej a grafickej stránke je spracovaná na veľmi dobrej úrovni. Vyznačuje sa jasným a logickým výkladom, občas sa vyskytujúce formálne chyby a neúplnosť, alebo duplicita v použitých označeniach nijako neznižujú vcelku jej dobrú čitateľnosť. K práci mám nasledujúce pripomienky, resp. otázky:

- strana 14 a 16, z akého dôvodu je v zápisoch kriteriálnych funkcií (2.2) a (2.8) metódy najmenších štvorcov, použité rozdielne označenie, ako sa potom deklarujú vzťahy (2.11) a (2.12)?
- strana 46, pri koncipovaní strednohodnotového modelu zážihového spaľovacieho motora bol uvažovaný i štandardný jav zvlniťovania stien sacieho potrubia motora pri nepriamom vstreku paliva?
- počas realizovaných experimentoch na motorovej stolici bolo deklarovaných 120 sekúnd postačujúcich na dosiahnutie nového ustáleného stavu motora?

Výsledky prezentované v predloženej doktorandskej dizertačnej práci Ing. Radka Beňu, ako i kvalita jeho publikáčnej činnosti, potvrdzujú jeho veľmi dobrú odbornú a vedeckú úroveň. Konštatujem, že predložená doktorandská dizertačná práca splňa všetky požiadavky kladené na tieto práce a prináša niektoré nové poznatky v oblasti vývoja prakticky orientovaných technológií pre identifikáciu nelineárnych systémov z ustálených stavov.

Odporúčam, aby predložená dizertačná práca bola prijatá k obhajobe v študijnom odbore "Rídicí technika a robotika" a po úspešnom priebehu obhajoby bola Ing. Radkovi Beňovi udelená vedecko-akademická hodnosť Ph.D.

V Bratislave 18. 04. 2018

Prof. Ing. B. Šrohaľ-Ilkiv, CSc.