

prof. Ing. Vladimír Bobál, CSc.

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav řízení procesů

Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín 5

Tel.: 57 603 5197, Fax: 57 603 5279

E-mail: bobal@fai.utb.cz

Oponentní posudek habilitační práce

Uchazeč:

Ing. Petr Hušek, Ph.D.

Pracoviště:

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická

Název habilitační práce: **Analysis and Synthesis of Systems with Fuzzy Parametric Uncertainty**

Předložená habilitační práce náleží do oblasti robustního řízení a její náplní je analýza a syntéza systémů s fuzzy parametrickými neurčitostmi. Habilitační práce je uvedena ve formě písemné práce, která přináší nové vědecké poznatky a je napsána v anglickém jazyce. Rozsah práce je 84 stran, obsahuje 32 obrázků a 55 literárních odkazů, z nichž odkazy [13] - [16] jsou příspěvky autora, týkající se obsahu habilitační práce.

Habilitační práce je členěna do šesti kapitol. První úvodní kapitola stručně shrnuje dosavadní poznatky z řešené problematiky s odkazy na příslušnou literaturu. Náplní druhé kapitoly je řešení problematiky lineárních systémů s fuzzy parametrickými neurčitostmi pro případ nezávislých struktur neurčitostí. Třetí kapitola se zabývá systémy, jejichž charakteristické polynomy obsahují lineárně afinně závislé koeficienty, které jsou popsány fuzzy funkcemi. Ve čtvrté a páté kapitole je navržená teorie aplikována pro řízení lineárních systémů s fuzzy parametrickými neurčitostmi prostřednictvím regulátorů typu PID. V závěrečné kapitole jsou shrnutý výsledky dosažené v habilitační práci.

Je zřejmé, že velká část průmyslových procesů vykazuje stochastické chování obsahující parametrické neurčitosti. Jedná se o systémy, které jsou charakterizovány tím, že parametry jejich dynamického modelu nejsou přesně známy, ale mohou ležet v určitém intervalu. Tento typ neurčitostí může být zapříčiněn např. chybami měření anebo jinými vnitřními i vnějšími vlivy působícími na modelovaný proces. Pokud jsou jednotlivé neurčité parametry dynamického modelu vzájemně nezávislé, jedná se o neurčitost s jednoduchou, tzv. intervalovou strukturou. Analýza takových systémů s polynomickou závislostí a návrh robustních regulátorů je mimo jiného náplní výzkumné činnosti pracoviště autora. Teoretickým přínosem autora je rozšíření této metody pro systémy s fuzzy parametrickými neurčitostmi.

Habilitační práce jako celek je pečlivě zpracována jak z hlediska formální úpravy, tak i srozumitelnosti. Přínos práce je hlavně v teoretické oblasti. Dosažené teoretické výsledky, na jejichž základě byly navrženy regulátory, byly experimentálně ověřeny. Výklad v jazyce anglickém je jasný a srozumitelný. Práce je napsána přehledně, členění textu je logické, rovněž styl a grafická úprava práce je na dobré úrovni. Uchazeč prokázal dobrou schopnost pro sepisování publikací určených pro pedagogické účely i vědeckou komunitu.

Pouze mám připomítku k některým grafům v kapitole 4 z hlediska přehlednosti. Toto je způsobeno hlavně velkým počtem průběhů jednotlivých funkčních závislostí. Na obr. 4.11 není vytisklá část legendy. Tato připomínka je pouze formální.

Téma pro diskusi při obhajobě doktorské práce

Navrhoji, aby uchazeč při obhajobě habilitační práce odpověděl následující dotazy:

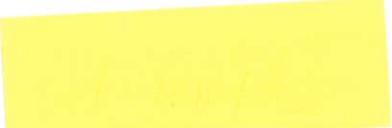
1. V práci je diskutováno hledání meze stability pro intervalové systémy a systémy s lineární závislostí koeficientů na jeho parametrech. Je možné obdobně řešit i případ s polynomickou závislostí?
2. V závěrečné kapitole je navržen poměrně složitý algoritmus pro nalezení konstant PID regulátoru splňujícího požadavek na maximální hodnotu citlivostní, případně komplementární citlivostní funkce. Přináší takový způsob návrhu nějaké výhody ve srovnání s běžně používaným a mnohem jednodušším návrhem zajišťujícím fázovou, případně amplitudovou bezpečnost?

Závěrečné vyjádření

Ve své habilitační práci prokázal uchazeč pedagogickou a vědeckou erudici v oblasti teorie automatického řízení a schopnost předávat výsledky své práce nejen posluchačům vysokých škol, ale i mezinárodní vědecké komunitě.

Habilitační práce splňuje veškeré potřebné náležitosti stanovené v § 72 zákona č. 111/98 Sb., proto doporučuji habilitační komisi, aby uchazeč Ing. Petr Hušek, Ph.D., byl jmenován docentem.

Ve Zlíně 21. února 2011



prof. Ing. Vladimír Bobál, CSc.

Prof. Ing. Boris Roháč-Ilkiv, CSc.
Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky
Strojnícka fakulta, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave

Oponentský posudok habilitačnej práce:

Ing. Petr Hušek, Ph.D.,

Analysis and Synthesis of Systems with Fuzzy Parametric Uncertainty

Predložená habilitačná práca, napísaná v anglickom jazyku v rozsahu 84 strán textu a obrázkov, je venovaná problematike analýzy a syntézy lineárnych systémov s fuzzy parametrickou neurčitosťou. Cieľom sa zameriava na reprezentáciu neurčitých parametrov systému pomocou fuzzy čísel so zadanou funkciou príslušnosti, ktorá je konvexná, normálna a na ohraničenom nosiči. Pre túto situáciu analyzuje hranice robustnej stability systému a navrhuje spôsob syntézy PI, PD a PID regulátorov vhodných pre tieto systémy.

Obsah predmetnej habilitačnej práce je rozdelený do šiestich kapitol. Prvá, úvodná kapitola uvádzá čitateľa do problematiky reprezentácie neurčitých parametrov lineárnych dynamických systémov pomocou fuzzy čísel a fuzzy logiky. Definuje východiskové tvary lineárnych systémov s fuzzy parametrickou neurčitosťou. Nasledujúce dve kapitoly, druhá a tretia, riešia z pohľadu teórie robustných systémov štandardný problém ako určiť hranice stability pre charakteristický polynóm príslušnému lineárному systému s fuzzy parametrickou neurčitosťou. Druhá kapitola pritom skúma tento problém pre systémy s nezávislou štruktúrou neurčitosti, definuje intervalové fuzzy systémy a hľadá minimálnu úroveň spoľahlivosti, pri ktorej je ešte charakteristický polynóm systému stabilný. Tretia kapitola analyzuje tento problém pre systémy, kde koeficienty charakteristického polynómu sú affinné funkcie parametrov neurčitosti. Habilitant tu navrhuje pôvodný postup využívajúci princíp vylúčenia nuly a techniku Cypkin-Poljakovho diagramu. Štvrtá a piata kapitola sú venované technikám návrhu robustných PI, PD a PID regulátorov pre systémy s fuzzy parametrickou neurčitosťou. V štvrtej kapitole sa habilitant zameriava na návrh PI a PD regulátorov,

pričom vychádza z bezpečnosti vo fáze a z bezpečnosti v amplitúde, a z fuzzy špecifikácie nielen neurčitých parametrov systému, ale i zo špecifikácie požiadaviek na činnosť uzatvorenej slučky fuzzy prístupom. Podobne, piata kapitola je venovaná návrhu PID regulátora s ohľadom na definovanú špičku citlivosti v Nyquistovom vyjadrení. Predložené riešenia syntéz regulátorov v týchto dvoch kapitolách habilitant ilustruje na viacerých názorných simulačných príkladoch. V príkladoch poskytuje aj porovnania s klasickými prístupmi v robustnom riadení. Záverečná, šiesta kapitola poskytuje prehľad výsledkov dosiahnutých riešení.

Spracovaná téma habilitačnej práce je z pohľadu možností ďalšieho rozvoja teórie riadenia, ako aj jej praktického využitia veľmi aktuálna a zaujímavá a predstavuje prínos pre ďalší rozvoj vedného odboru. Ciele, ktoré si habilitant vo svojej práci vytýčil, možno považovať za dostatočne splnené. Prínosy predloženej práce z pohľadu oponenta sú nasledovné:

- návrh postupu určenia hraníc stability pre lineárne systémy s fuzzy parametrickou neurčitosťou pri intervalovom zobrazení neurčitosti a ďalej pri zobrazení cez afinné funkcie,
- metodika návrhu PI a PD regulátorov pre lineárne systémy s fuzzy parametrickou neurčitosťou pri fuzzy uvažovanej špecifikácii požiadaviek na bezpečnosť vo fáze a v amplitúde,
- metodika návrhu PID regulátora pre špecifikované špičky citlivosti a komplementárnej citlivosti.

Po formálnej stránke je predložená habilitačná práca vypracovaná starostlivo, s malým počtom formálnych chýb a preklepov a s dobrou čitateľnosťou a zrozumiteľnosťou. Medzi formálne pripomienky možno zaradiť snáď chýbajúci prehľad označení použitých v práci, nižšiu grafickú kvalitu niektorých obrázkov, najmä pri simulačných výsledkoch z predložených príkladov, alebo na strane 14 *opačne* definované funkcie *core* a *supp*.

Po obsahovej stránke mám k práci nasledujúcu otázku:

- ako by sa v práci predložené riešenia, či už na určenie hraníc stability, alebo na syntézu PI, PD a PID regulátorov zmenili, resp. modifikovali, ak by uvažované funkcie príslušnosti neboli konvexné?

Výsledky prezentované v habilitačnej práci Ing. Petra Hušeka,Ph.D., ako i rozsah a kvalita jeho publikáčnej činnosti, potvrdzujú veľmi dobrú odbornú a vedeckú úroveň menovaného. Jeho celkový vedecký prínos hodnotím kladne a na základe posudzovanej habilitačnej práce jednoznačne odporúčam vymenovanie Ing. Petra Hušeka,Ph.D., za docenta v odbore Technická kybernetika.

V Bratislave 23.02.2011

Prof. Ing. B.Roháč-Ilkiv, CSc.

Oponentní posudek habilitační práce Ing. Petra Huška, Ph.D.

„Analysis and Synthesis of Systems with Fuzzy Parametric Uncertainty“

Fuzzy množiny se v oblasti řízení využívají zejména tam, kde neznáme matematický popis regulované soustavy, resp. regulovaná soustava je silně nelineární a klasickými metodami je obtížně řiditelná. Základem fuzzy regulátoru je báze pravidel, která za předpokladu vstupu vyjádřeného (obvykle trojúhelníkovými) fuzzy čísly definuje odpovídající fuzzy výstup. Protože při pokrytí rozsahu možných vstupů fuzzy čísly (tento proces se nazývá fuzzifikace) se tato vyjádření překrývají a množina předpokladů (antecedentů) pravidel může být víceprvková, přesně změřená (deterministická) hodnota může být pokryta několika pravidly a je nutné stanovit, jakým způsobem se budou agregovat odpovídající závěry (konsekventy) pravidel. Regulační obvod musí pochopitelně být doplněn předzpracujím (preprocessing) blokem, kde měřené hodnoty jsou normalizovány do intervalu [0, 1], a defuzzikačním blokem následovaným blokem dodatečného (postprocessing) zpracování, které zajistí, že výsledný fuzzy výstup se převede na deterministický akční zásah mapovaný do domény, se kterou pracuje řízená soustava.

Zaměření předložené habilitační práce je však odlišné. Autor se v ní zabývá systémy, jejichž struktura je sice dána, nejsou však přesně známy jejich parametry, tj. na systémy s parametrickou neurčitostí. S touto situací se však často můžeme setkat, a tedy lze konstatovat, že zaměření práce je aktuální.

Je zřejmé, že u systémů s parametrickou neurčitostí vyvstává otázka jejich stability, jestliže je systém stabilní pro určité hodnoty parametrů, v jakých mezích hodnot parametrů je stabilita zachována, což odpovídá vyšetřování stability v teorii robustního řízení. Autor tuto otázku v kapitole 2 studuje velmi rigorózně a řadu výsledků také precizně dokazuje. Na příkladu zde rovněž ukazuje, jak je možné agregovat údaje získané z více měření.

Problém je však většinou komplikován tím, že koeficienty charakteristického polynomu nemusí záviset pouze na jednom parametru. V kapitole 3 se autor zaměřuje na systémy, kde koeficienty charakteristického polynomu lineárně závisí na parametrech popsaných fuzzy čísly s nesymetrickou trojúhelníkovou funkcí příslušnosti. Představuje zde geometrický přístup, který vícerozměrný problém transformuje na jednoparametrovou mřížku.

V kapitole autor uvažuje lineární systém s fuzzy parametrickou neurčitostí, z jehož přenosu pro odpovídající α -řezy odvozuje „intervalový“ systém přenosů. Pro pevně danou soustavu pak hledá PI a PD regulátor s požadovaným rozsahem fáze nebo zesílení. Navržené postupy jsou aplikovány v řízení úhlové rychlosti stejnosměrného motoru. Na přechodových charakteristikách autor ukazuje, že je dosaženo požadované chování uzavřeného obvodu, kdy největší překmit pro α -řezy odpovídající jádru a nosiči neprekračuje 10, resp. 20% ustálené hodnoty.

Popsané postupy však mohou selhat u některých systémů, pokud se amplitudová a fázová neurčitost projeví ve stejném čase. Autor ukazuje, jakým způsobem navrhnut PID regulátor s využitím maximální hodnoty funkce citlivosti a komplementární funkce citlivosti, které zajišťují minimální rozpětí fáze a zesílení.

Ke zpracování habilitační práce lze říci, že má výbornou grafickou úpravu (danou použitím typografického systému L_AT_EX) a práce je napsána velmi dobrou angličtinou a na vysoké teoretické úrovni.

Domnívám se ale, že v práci by měla být zařazena speciální kapitola, která by vymezila její cíle. Pouze na str. 3 je uvedeno, že autor se bude zabývat některými problémy analýzy a syntézy lineárních systémů s fuzzy parametrickou neurčitostí, které jsou postupně vysvětlovány a předkládána jejich řešení. V tomto ohledu práce spíše působí jako učebnice. Není ani příliš zřetelné, které výsledky jsou vlastním příspěvkem autora, zda se to např. týká i matematických vět, které autor uvádí i s důkazy.

Dotazy na habilitanta:

1. V kapitole 4 zmiňujete využití metod evolučního programování v aplikacích robustního řízení nelineárních systémů. Můžete je více přiblížit v této souvislosti?

Závěr:

Domnívám se, že Ing. Petr Hušek, Ph.D. je ve vědecko-pedagogické činnosti komplexní osobností s výraznými publikacemi ve vědeckých časopisech i na prestižních konferencích (např. IFAC) a má také odpovídající pedagogickou praxi. Ve své práci i výzkumné činnosti prokázal tvůrčí schopnosti, rozšířil spektrum metod pro analýzu a syntézu systémů s parametrickou neurčitostí, získal mezinárodní ohlas a uznání vědeckou komunitou, a navržené přístupy a jejich efektivitu ověřil na konkrétních technických aplikacích. Jeho habitační práce splňuje podmínky odst. (3) § 72 Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb., její publikované části jsou přínosem k rozvoji vědy, a proto

doporučuji

práci k obhajobě před vědeckou radou Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze a po jejím úspěšném průběhu Ing. Petra Huška, Ph.D. jmenovat docentem pro obor Technická kybernetika.

V Brně dne 17. dubna 2011

Prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
Ústav automatizace a informatiky
Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně