

## Oponentský posudek

disertační práce Ing. Petra Navrátila

### **Metody průběžné identifikace pro návrh samočinně se nastavujících regulátorů**

Téma práce je aktuální, jedná se o zlepšování vlastností složitějších algoritmů řízení, které by měly nahradit dosud v převážné míře užívané PID regulátory.

Disertační práce obsahuje 107 stran textu a 12 stran příloh formátu A5. K práci je přiložen CD. První část tvoří stručný encyklopedický přehled metod identifikace, zaměřený především na on-line metody (kap. 4, 5 a 6). Druhá část se zabývá principem adaptivních regulátorů (kap.7). Kap. 8 je hlavní částí práce a obsahuje návrh paralelního zapojení kombinace algoritmů identifikace a řízení, z nichž je v každém kroku regulace vybrána nadřazeným členem optimální kombinace podle zvolených kritérií. Metoda je potom ověřena na simulovaném příkladě v prostředí MATLAB Simulink (kap. 9) a na reálné laboratorní soustavě (kap. 10).

Cílem disertační práce (str. 23) bylo ověřit a vybrat vhodné metody identifikace pro adaptivní regulátor, navrhnout paralelní strukturu s více identifikačními a regulačními algoritmy a ověřit její činnost na simulovaném a reálném systému.

Ze stanovených cílů je dobře zpracována paralelní struktura algoritmu s přepínáním identifikačních metod. Identifikační algoritmy jsou popsány, ale není uvedeno jejich srovnání, jejich činnost v uzavřeném regulačním obvodu a kritéria podle kterých byly vybrány. Práce je zaměřena na praktickou aplikaci metody. Hlavní přínos autora spočívá v návrhu metodiky pro výběr identifikačních algoritmů pomocí nadřazeného členu a ve vypracování programového vybavení v prostředí MATLAB Simulink. Zkoumaná metoda a funkčnost programu byly s úspěchem ověřeny na uvedených příkladech.

Formální úprava disertační práce je dobrá, práce je přehledně a srozumitelně napsaná. Grafické přílohy jsou pečlivě zpracované.

Publikační činnost autora je bohatá. Jedná se především o příspěvky na zahraničních a domácích konferencích.

Ke způsobu zpracování práce mám následující připomínky:

- Stochastické metody identifikace poskytují model, který popisuje vlastnosti soustavy a šumu. Jak byl z těchto modelů navrhován regulátor?
- Penalizační konstanta v kvadratickém kritériu (8.7) má zásadní vliv na průběh regulačního pochodu, jak byla volena?
- Nebylo by vhodné doplnit volbu identifikační metody ještě např. volbou řádu modelu a koeficientu zapomínání?
- Je porovnání s jednoduchým STC (str. 86 a 95) dobrým měřítkem pro prokázání úspěšnosti navrhovaného postupu?

Práce obsahuje drobné chyby, jako např.:

- v rov. (5.2) a (5.3) na str.29 a 30 nadbytečné závorky, které připouštějí chybný výklad,

- různý počet prvků ve vektorech (6.4) a (6.5) na str. 33,
- špatně stanovené stupně polynomů na str. 34,
- chybí odkaz na literaturu na str. 66,
- polynom  $D$  se volí 4. stupně (str. 70) a následující výpočet je pro druhý stupeň (str. 71).

Přes výše uvedené připomínky je možno konstatovat, že disertační práce je zpracována na požadované odborné úrovni. Získané výsledky budou po případném dalším dopracování aplikovatelné v praxi. Disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Pardubicích 27.4.2007



Doc. Ing. Jiří Macháček, CSc.  
Ústav elektrotechniky a informatiky  
Univerzita Pardubice

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Odd. tvůrčí činnosti  
Nad Stráněmi 4511  
76005 ZLÍN

---

## **Oponentní posudek doktorské práce**

### **Metody průběžné identifikace pro návrh samočinně se nastavujících regulátorů**

**Autor:** Ing. Petr NAVRÁTIL  
**Obor:** Technická kybernetika  
**Školitel:** prof. Ing. Vladimír Bobál, CSc.

Práce se zabývá identifikací pro adaptivní řízení a porovnává různé metody výpočtu a různé modely soustav. Uvedené téma je řešeno mnoha autory už dlouhou řadu let, je až překvapující, že identifikace je stále aktuálním tématem výzkumu.

Cílem doktorské disertační práce bylo ověření vybraných metod v uzavřeném regulačním obvodu, ověření rekurzivních metod pro odhad parametrů, návrh paralelního identifikačního algoritmu s možností přepínání. Cíle stanovené doktorandem byly splněny v celém rozsahu, byla provedena řada simulačního a reálného ověření paralelního regulátoru a srovnání výsledků s jednoduchou strukturou regulátoru.

Velmi solidně je uveden přehled typů modelů, včetně blokových schémat, pro většinu možných modelů vycházejících z obecného lineárního modelu. Výhradu mám ke zjednodušení zápisu polynomů u jednotlivých typů modelů.

V práci je široce popsána možnost využití rekurzivních algoritmů, odvození je provedeno pro řadu modelů. Konkrétním přínosem předkládané práce je kapitola 9., simulační ověření, kde je uveden průběh změny parametrů modelu řízeného systému pro 7 různých rekurzivních identifikačních algoritmů a také experimentální ověření. Experimentální ověření bylo provedeno na laboratorním modelu DTS200 Tři nádrže. Přínosem práce je návrh na zlepšení spolehlivosti a výkonu samočinně se nastavujících regulátorů a vytvořením multiestimačního schéma pro zlepšení přechodového děje v průběhu regulačního pochodu.

Pro využití v praxi budou asi stát známé výhrady, proč adaptivní regulaci. Pro rozvoj vědního oboru v oblasti řízení má práce svůj význam.

Po formální stránce je disertační práce vypracována pečlivě, grafy jsou uvedeny přehledně. Jazyková úroveň práce je na úrovni, která se pro uvedenou práci předpokládá.

Publikační aktivita doktoranda je na dobré úrovni 16 příspěvků – jeden příspěvek v AT&P Journal, dále aktivní činnost na katedře – 5 vedení bakalářských nebo diplomových prací.

Předkládaná práce „Metody průběžné identifikace pro návrh samočinně se nastavujících regulátorů“ pana Ing. Petra Navrátila je vypracována pečlivě a bez větších chyb či omylů. Řešitel prokázal schopnost dobré orientace v řešené problematice a realizaci simulačních schémat v prostředí SIMULINK.

#### **Otázky:**


1. str. 27<sub>2</sub> „...výraz  $b_0 u(k)$  se v diferenčních rovnicích nevyskytuje..“ by chtělo objasnit, často je v literatuře jako testovací model uvažován také uvedený výraz.
2. str. 28 chybu působící na různá místa regulačního obvodu (vstup, výstup, měřený vstup) lze uvést přehledně pomocí korelačních funkcí resp. vyjádřením přenosu pro poruchu na vstupu a na výstupu.

3. Mimo rekurzivních algoritmů existují také velmi elegantní možnosti průběžného výpočtu metodou elementárních rotací, odmocnin, Choleského atd., které do metod řešení nejsou v práci zahrnuty. Existuje důvod, že pro výpočet koeficientů modelu je používána pouze metoda rekurzivních algoritmů.
4. str. 25, 37 nevhodné zjednodušení zápisu polynomů u některých typů polynomů.

Uvedené připomínky nesnižují úroveň předkládané disertační práce a vzhledem k uvedeným skutečnostem

**doporučuji**

předkládanou práci k obhajobě.

  
Prof. Ing. Miroslav Olehla, CSc.  
Katedra aplikované kybernetiky  
Fakulta strojní  
Technická univerzita v Liberci

Liberec 5.4.2007

Prof. Ing. Boris Rohaľ-Ilkiv, CSc.  
Katedra automatizácie, informačnej a prístrojovej techniky  
Strojnícka fakulta, Slovenská Technická Univerzita  
Bratislava

Oponentský posudok doktorandskej dizertačnej práce:

**Ing. Petr Navrátil**

*Metody průběžné identifikace pro návrh samočinně sa nastavujících regulátorů*

V predloženej doktorandskej dizertačnej práci, napísanej v celkovom rozsahu 119 strán textu a príloh, je riešená problematika návrhu novej - *multiestimačnej* štruktúry rekurzívnej identifikácie s nadradeným dohliadacím členom, so všeobecným zámerom prispieť k zvýšeniu spoľahlivosti a zabezpečeniu kvality funkcie adaptívnych regulátorov v podmienkach riadenia časovo premenlivých procesov.

Dizertačná práce je rozdelená včítane úvodu a záveru do 11-tich kapitol. Po prvých troch kapitolách zameraných na úvod, literárnu rešerš a stanovenie cieľov práce, autor v nasledujúcich dvoch kapitolách stručne pojednáva o typových štruktúrach použitých modelov a hodnotení kvality ich identifikácie. V rozsiahlejšej 6-tej kapitole sa venuje prehľadu známych variant rekurzívnej metódy najmenších štvorcov s ohľadom na rôzne techniky adaptácie faktorov zabúdania pri sledovaní časovo premenlivých systémov a zameriava sa na riešenie problému získavania nevychýleného odhadu pre prípady ak pôso- biaca stochastická zložka nemá charakter diskretného bieleho šumu. V tomto prehľade sa predovšetkým viac sústreďuje na výsledné matematické vzťahy a na použité aproximácie, menej sú diskutované konvergenčné vlastnosti a stabilita jednotlivých modifikácií. Inicializácii rekurzívnych algoritmov je venovaný skôr symbolický priestor. Ťažiskom práce je ôsma kapitola. Tu autor formuluje vlastný návrh paralelného zapojenia rekurzívnych identifikačných algoritmov, vysvetľuje štruktúru a činnosť multiestimačnej schémy podporujúcej spoľahlivú funkciu a kvalitu adaptívnej regulácie v

reálnych podmienkach. Predstavuje štruktúru nadriadeného dohliadacieho člena fungujúceho v tejto schéme a určujúceho výber aktívneho adaptívneho regulátora. Predmetom posledných dvoch kapitol je potom simulačné a experimentálne overenie funkčnosti a prínosov navrhutej schémy pre prípad LQ adaptívnej regulácie s dvoma stupňami volnosti.

Po formálnej stránke je predložená dizertačná práca vypracovaná pomerne starostlivo s minimálnym počtom formálnych chýb a preklepov.

Spracovaná téma dizertačnej práce je z pohľadu teórie ako aj z hľadiska možností praktického využitia aktuálna a veľmi zaujímavá pre ďalší rozvoj adaptívneho riadenia s priebežnou identifikáciou. Jednotlivé ciele a zámery, ktoré si doktorand vo svojej práci vytýčil, možno považovať za dostatočne splnené. Získané simulačné a experimentálne výsledky potvrdili reálnosť a funkčnosť navrhutej multiestimačnej štruktúry. Zároveň je však zo získaných výsledkov zrejme, že výskum v tomto zámere by mal pokračovať i naďalej, najmä z hľadiska stanovenia techník pre vhodnú voľbu voliteľných parametrov celej štruktúry.

Prínosy predloženej práce z pohľadu oponenta sú nasledovné:

- návrh paralelnej multiestimačnej schémy podporujúcej spoľahlivú funkciu adaptívnej regulácie s priebežnou identifikáciou pri riadení časovopremenných systémov,
- návrh štruktúry a funkcií nadriadeného dohliadacieho člena,
- návrh kritérií pre voľbu aktívneho regulátora z danej množiny paralelných regulátorov,
- simulačné a experimentálne overenie funkcie navrhutej schémy.

K práci mám nasledujúce pripomienky, respektíve otázky:

- jav *bursting* opísaný na strane 19 nebýva dávaný do súvisu s problémom nekonečného driftu parametrov, ale skôr s problémom nevybudnosti dát pri exponenciálnom zabúdaní, viď. strana 20, resp. strana 65 práce,
- prečo v rovnici (6.3) na strane 33 je uvedený stochastický člen  $e(k)$  a nie  $n(k)$  a podobne odhad  $\hat{\theta}$  na miesto neznámych parametrov  $\theta$ ?

- na strane 33 konštatovanie: *Vektor parametrov obsahuje také hodnoty neměřitelné poruchy* nie je správne, tieto hodnoty obsahuje regresor; podobne na tejto strane z rovnosti  $n_c = 0$ , nevyplýva, že na systém nebude pôsobiť šum,
- predpoklady pre nevychýlený odhad, uvedené na strane 35 sa vzťahujú k vlastnostiam stochastickej zložky  $e(k)$  a nie chyby modelovania  $\hat{e}(k)$ ,
- výraz  $C(k)\phi(k)$  - korekčný faktor (na strane 39) je riadkový vektor?
- čo znamená výraz  $C(k-1)^2$  v EFRA algoritme na strane 44?
- pri simulačnom a experimentálnom overovaní bola použitá aj rekurzívna metóda *pseudolineárnej regresie* (Tab. 2, strana 79), v prehľade metód v kap. 6 práce však chýba, aký je jej algoritmus?
- v kap.9.3.3 je pri simuláciách konštatovaný rozdiel v kvalite riadenia procesu jednoduchým regulátorom oproti kvalite získanej celou štruktúrou dvojíc regulátorov; tento rozdiel je však dobre predikovateľný a vyplýva z použitej stochastickej časti simulovaného modelu,
- nesúvisia výsledky získané v Tab.4 na strane 95 tiež s charakterom stochastickej zložky pôsobiacej počas reálneho experimentu na uvedenej laboratórnej sústave?

Výsledky prezentované v predloženej doktorandskej dizertačnej práci Ing. Petra Navrátila, ako i rozsah a kvalita jeho publikačnej činnosti, potvrdzujú veľmi dobrú odbornú a vedeckú úroveň menovaného. Konštatujem, že predložená doktorandská dizertačná práca spĺňa všetky požiadavky kladené na tieto práce a prináša nové poznatky v oblasti návrhu a zvyšovania spoľahlivosti funkcie adaptívnych regulátorov s priebežnou identifikáciou. Prácu preto doporučujem k obhajobe a navrhujem udelenie akademického titulu "Ph.D."

V Bratislave 7.5.2007

Prof. Ing. B.Rohaľ-Ilkiv, CSc.