

Detekce změn a chyb v dynamických systémech

Ing. Jan Škach

Posudek disertační práce

Disertační práce Ing. Jana Škacha se zabývá problematikou detekce změn v dynamických systémech. Pokrývá několik úzce ovisejících témat: metody pasivní a aktivní detekce, souvislost detekce změn a řízení dynamických systémů a metody detekce změn založené pouze na datech.

Zvolené téma práce je aktuální, a to jak z hlediska rozvoje teoretického aparátu, tak z hlediska aplikací. V současné době u vestavěných aplikací (např. řízení spalovacích motorů) rozsah kódu pokrývající úlohy diagnostiky několikanásobně převažuje rozsah kódu pro vlastní řídicí funkce. Zároveň nejsou v průmyslových aplikacích dostatečně rozšířené metody systematického návrhu diagnostických funkcí, což vede k vysoké časové náročnosti jejich vývoje. Aktuálnost tématu a intenzita výzkumu v této oblasti je také dokumentována seznamem referencí, obsahujícím téměř 150 položek.

Postup řešení problému, použitý doktorandem, je logický a dobře strukturovaný. V kapitole 3 doktorand definuje jednotlivé cíle práce a poté formuluje řešení jednotlivých variant jako optimalizační problém. Dosažené výsledky jsou ilustrovány několika numerickými příklady v kapitole 8, splnění všech pěti konkrétních cílů práce je pak explicitně popsáno v závěru práce v kapitole 9.

Původní výsledky autora jsou shrnuty v kapitolách 4 až 7. V oblasti metod založených na modelu dynamického systému rozvíjí koncept aktivní detekce chyb na nekonečném horizontu v případě úplné a neúplné informace o spojitě části stavu a definuje koncept informačního stavu. V metodách řešení jednotlivých optimalizačních úloh využívá nejen tradiční postupy teorie řízení, vycházející ze stochastického dynamického programování, ale také metody z oblasti umělé inteligence a strojového učení (metody časové diference, Q-učení). V kapitole 7 stručně uvádí i některé metody založené na datech (bez využití explicitního modelu).

Uspořádání práce je systematické a logické, výklad je srozumitelný, rozsah jednotlivých kapitol přiměřený. Práce je napsána pečlivě, má dobrou jazykovou i grafickou úroveň.

Originální výsledky doktoranda potvrzuje také řada jeho publikací v časopisech a na kvalitních mezinárodních konferencích. Seznam publikací dokládá, že se autor problematikou své disertační práce zabývá dlouhodobě a systematicky navazuje na předchozí výsledky týmu ZČU v této oblasti.

K práci mám následující připomínky, popř. náměty pro odbornou diskusi při obhajobě:

1. V odstavci 2.3.1 jsou jisté nepřesnosti ve formulaci úlohy (vztah (2.4) definuje implicitní rovnici pro rozhodnutí d_k ; kritérium (2.5) by mělo respektovat dostupnou informaci pro výpočet střední hodnoty; ve vztahu (2.9) je operátor střední hodnoty zřejmě přebytečný).
2. Zatímco v případě LQ řízení je výsledkem limitního přechodu na nekonečný časový horizont konstantní řešení Riccatiho rovnice a tedy časově neproměnný zákon řízení (stavová zpětná vazba), umožňující teoretickou analýzu dynamického chování, v odstavci 3.1 jsem přesně neporozuměl významu – dopadu formulace úlohy detekce chyb na nakonečném horizontu.
3. Pokud je při aktivní detekci změn úkolem vstupního signálu zlepšení kvality detekce, nepovažuji formulaci aktivního detektoru chyb (4.5) za optimální. Vstupní signál u_k nemá součástí informačního vektoru Z^k a tudíž nijak nepřispěje ke zlepšení kvality rozhodnutí d_k . Protože informace o změně disktrétního stavu μ_k v modelu (4.1) ovlivní až budoucí stavy a výstupy (vzhledem k okamžiku změny), považoval bych za vhodnější formulaci problému, která respektuje fakt, že k optimálnímu rozhodnutí je třeba akumulovat tuto informaci, tj. aktualizovat s využitím Bayesových rekurzivních vztahů apriorní pravděpodobnost $p(d_k|Z^k)$ na aposteriorní pravděpodobnost $p(d_k|Z^{k+d})$ a formulovat tak problém aktivní detekce chyb spíše jako sekvenční rozhodovací problém (případně s možností optimalizovat zpoždění detekce d). Z tomto případě vstupy $\{u_k, \dots, u_{k+d-1}\}$ tvoří součást informačního stavu Z^{k+d} a role vstupu při aktivní detekci změn je jasně formulovaná.
4. Odhady p.h.p. (4.13) - (4.15) pracují s konečnými směšovými hustotami. V jakém smyslu je tedy model $p(s_k|Z^k)$ nekonečně rozměrný?
5. Počínaje vztahem (6.9) používá autor definici podmíněné pravděpodobnosti přechodu v opačném smyslu. Dle (4.3) by mělo platit $P_{j,i} = (\mu_{k+1}=j | \mu_k=i)$.
6. Z čeho plyne vztah (6.59) v odstavci 6.4.2 ?
7. Jak je zaručeno, že odhad matice M_i (7.10) bude mít požadovanou strukturu definovanou vztahem (7.7) ?

Celkově konstatuji, že práce Ing. Jana Škacha je kvalitní, obsahuje originální výsledky autora, které jsou přínosem pro vědeckou komunitu v oboru a tedy splňuje nároky na udělení akademického titulu „doktor“ v oboru *Kybernetika*. Doporučuji disertační práci Ing. Jana Škacha k obhajobě.

V Praze 1. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Havleňa, CSc.

Prof. Ing. Milan Hofreiter, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav přístrojové a řídicí techniky
Technická 4, 166 07 Praha 6

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce: Detekce změn a chyb v dynamických systémech

Autor disertační práce: Ing. Jan ŠKACH

Obor: Kybernetika

Školící pracoviště: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra kybernetiky

Školitel: doc. Ing. Ondřej STRAKA, Ph.D.

Oponentský posudek byl zpracován na základě pověření doc. Dr. Ing. Vlasty Radové, děkanky Fakulty aplikovaných věd, Západočeské univerzity v Plzni. Předložená disertační práce včetně seznamu publikací autora obsahuje 126 stran.

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Předložená disertační práce je věnována detekci chyb v dynamických systémech, čemuž je v celém světě věnována velká pozornost a existuje mnoho publikací s tímto zaměřením. Publikace jsou věnovány především pasivní detekci chyb a teprve v poslední době se začala věnovat větší pozornost aktivní detekci chyb. Vysoce aktuální aktivní detekci chyb v stochastických dynamických systémech je právě věnována disertační práce, kde je uvedeno původní řešení aktivní detekce chyb pro diskrétní stochastické dynamické systémy na nekonečném časovém horizontu.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Při řešení aktivní detekce chyb v dynamických systémech autor navázal na předchozí dosažené výsledky výzkumného týmu IDM (Identification and Decision Making) založené prof. Ing. Šimandlem, CSc. a nyní vedené doc. Ing. Strakou, Ph.D. Při řešení disertant využil především poznatků z teorie pravděpodobnosti, teorie odhadu, teorie optimálního řízení a umělé inteligence. Podařilo se mu navrhnout řešení aktivní detekce chyb i včetně přidání požadavku na chování stochastického systému využitím vícemodelového přístupu se známými pravděpodobnostními přechody mezi modely s nepřímo měřitelným stavem. Vlastnosti aktivní detekce je demonstrována na třech simulačních příkladech. Alternativní dvě možná řešení detekce změn a chyb bez znalosti modelu využívající pouze měřená data jsou pak navrženy v další části disertační práce a demonstrovány na systému prvního řádu. Všechny stanovené ambiciózní cíle byly dosaženy.

c) *Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce*

Disertační práce se věnuje základnímu výzkumu v oblasti detekce změn a chyb v dynamických systémech. K hlavním výsledkům práce především patří

- formulace návrhu a řešení aktivního detektoru chyb na nekonečném časovém horizontu a řízení pro systémy popsané vícemodelovým přístupem se známými pravděpodobnostmi přechodu mezi modely včetně dalšího odvození pro speciální případy,
- návrh dvou algoritmů pro detekci změn a chyb bez znalosti modelu založené na měřených datech.

Dosažené výsledky významným způsobem přispívají k rozvoji teorie v oblasti aktivní detekce změn a chyb v dynamických systémech.

d) *Vyjádření k systematické, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce*

Disertační práce je přehledně zpracována na velmi vysoké odborné i formální úrovni. Systematicky postupuje od obecné formulace problému, přes vlastní návrh řešení až po dosažené obecné teoretické výsledky. Obdobně jsou zpracovány i řešené dílčí případy. Způsob zpracování tématu svědčí o hlubokých teoretických znalostech autora disertační práce a jeho detailní orientaci v oboru.

e) *Vyjádření k publikacím studenta*

V seznamu autorových publikací je uvedeno 14 publikací související s řešenou problematikou a dalších 6 publikací, které bezprostředně nesouvisí s detekcí změn a chyb. Ve 12 případech je uveden jako vedoucí autor. Z toho 4 články byly zveřejněny v zahraničních odborných časopisech. Převážná část konferenčních příspěvků pak byla publikována ve sbornících celosvětově uznávaných konferencí.

f) *Návrh otázek k obhajobě*

- Byly dosažené výsledky kromě uvedených simulačních příkladů též využity pro aktivní on-line detekci chyb reálného zařízení, například laboratorní úlohy?
- Jak při popisované aktivní detekci dynamického systému volit periodu vzorkování?
- Jak se při vícemodelovém přístupu k aktivní detekci chyb dynamického systému vyhodnotí případ výskytu závady, která nebyla apriorně předpokládána?

g) *Závěrečné hodnocení*

Na závěr mohu konstatovat, že stanovené náročné cíle byly v disertační práci dosaženy a její výsledky jsou nesporným přínosem pro rozvoj vědního oboru v uvedené problematice. Předložená disertační práce Ing. Jana Škacha v plné míře prokázala autorovu schopnost samostatné vědecké práce a jednoznačně ji doporučuji k obhajobě.

V Praze dne 14.11.2017



prof. Ing. Milan Hofreiter, CSc.