

Prof. Ing. Ivo Petrás, DrSc.

Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov, Fakulta BERG,
Technická univerzita v Košiciach, B. Němcovej 3, 042 00 Košice, Slovensko

OPONENTSKÝ POSUDOK HABILITAČNEJ PRÁCE

„Traveling Waves and Scattering in Control of Chains“

Autor práce: Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.

Pracovisko: Katedra řídicí techniky, Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Prahe

Odbor: Technická kybernetika

Posudok na habilitačnú prácu s názvom „*Traveling Waves and Scattering in Control of Chains*“ autora: Ing. Zdenka Huráka, Ph.D., som vypracoval na základe žiadosti č. j.: 121/3951/16 od doc. Ing. Milana Polívku, Ph.D., prodekana pre doktorské štúdium a výskum na FEL ČVUT v Prahe, ktorá mi bola doručená dňa 24.02.2016.

Predložená habilitačná práca má celkovo 87 strán. Pozostáva z predstavovania, podčakovania, troch kapitol, zoznamu použitej literatúry s 87 položkami, z ktorých na 8 je spoluautorom habilitant. Každá kapitola má vlastný záver a aj budúce smerovanie. Práca je napísaná v anglickom jazyku.

Habilitačná práca sa venuje modelovaniu, analýze a syntéze riadenia pre reťazce dynamických systémov použitím postupujúcich vln a rozptylového opisu, ktoré sú implementované v riadení systémov. V práci sú ďalej opísané zaujímavé prepojenia, ako napríklad vzťah medzi impedanciou bezstratového prenosového vedenia a návrhom H_∞ optimálneho riadenia pričom sa využíva tzv. impedančné prispôsobenie. Oceňujem tiež použitú analógiu medzi teóriou známou z elektrických obvodov do teórie automatického riadenia, kde sa v uvedenej podobe doteraz vyskytovala zriedka.

Po formálnej stránke ja práca napísaná takmer bez chýb. Vyskytuje sa v nej len minimálne množstvo preklepov, ako napríklad na str. 41, názov kapitoly 3.3. by mal byť H_∞ control ... a pod. Tieto formálne nedostatky v žiadnom prípade neznižujú kvalitu a vysokú úroveň tejto práce.

K predloženej habilitačnej práci mám tieto pripomienky a otázky:

- 1) Kde v praxi vidíte uplatnenie pre Vami navrhnuté optimálne riadenie rôznych reťazcov ?
- 2) Bolo by možné využiť aparát neceločíselného diferenciálneho počtu pre opis dynamického chovania pohybujúcich sa vln, resp. prechodových javov v reťazcoch dynamických systémov ?

Predloženú habilitačnú prácu Ing. Zdenka Huráka, Ph.D., hodnotím kladne a záverom môžem konštatovať, že splňa všetky náležitosti kladené na takúto prácu. Práca prináša nové poznatky pre ďalší rozvoj výskumu v tejto oblasti. Autor má veľké predpoklady ďalej rozvíjať túto problematiku. Dosiahnuté výsledky sa dajú aplikovať tak v praxi ako aj v pedagogickom procese.

Na základe vyššie uvedeného **ODPORÚČAM** prijať habilitačnú prácu k obhajobe a po úspešnej obhajobe vymenovali Ing. Zdenka Huráka, Ph.D., za docenta v odbore **Technická kybernetika**.

V Košiciach, 23.3.2016.

prof. Ing. Ivo Petrás, DrSc.

Posouzení habilitační práce Ing. Zdeňka Huráka, Ph.D.

Název habilitační práce: **Traveling Waves and Scattering in Control of Chains**

Předkládá: **Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.**, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze

Oponent: prof. Ing. Roman Prokop, CSc., Fakulta aplikované informatiky UTB ve Zlíně

Obor habilitace: Technická kybernetika

Téma práce a aktuálnost zkoumané problematiky.

Autor Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D. předložil habilitační práci **Traveling Waves and Scattering in Control of Chains**, která se zabývá modelováním, analýzou a návrhem řízení pro speciální třídu dynamických systémů. Tuto třídu lze charakterizovat jako řetězce dynamických systémů s prostorovým rozložením. Pro řešení využil metody putující vlny (traveling-wave) a rozptylování (scattering).

Habilitační práce je napsána v anglickém jazyce formou monografie ve třech hlavních částech. Má rozsah 79 stran a uvádí 87 referencí. Je napsána s nadhledem, velmi čitivým a rozšafným jazykem. Pro posouzení habilitační práce bych ocenil doplnění seznamu vlastních prací s uvedením autorských podílů. Ke dni vypracování posudku má předkladatel v databázi Web of Science 43 položek, v databáze Scopus 48 záznamů (9 první autor) s počtem citací 96, bez autocitací 60 s indexem $H_{ind} = 4$.

Zvolené metody zpracování a dosažené výsledky.

První část práce v rozsahu 10 stran se zabývá řetězci dynamických systémů v různých interpretacích, kaskáda vozidel, řetěz hydraulických systémů, RLC obvody. Dále jsou v této části popsány způsoby návrhu řešení a vlastní přínos autora ve smyslu použití n-D polynomů.

Druhá část je podrobnější a v rozsahu 24 stran a využívá metodu LFT pro mnohorozměrné systémy, přesněji pro prostorově spojité systémy. Jsou diskutovány dva odlišné přístupy pro impedanční přizpůsobení (impedance matching). Je zde studována řada pojmu (Traveling waves, Impedance matching, scattering description,...) a formulována a dokázána lemma pro návrh regulátoru a jeden teorém.

Třetí část chápe studované objekty jako řetězce systémů se soustředěnými parametry a má rozsah 37 stran. Tato část je nejobsáhlejší, postupy lze pokládat za korektní a přínosné. Odvození jsou ilustrovány příklady a simulacemi. Analogie elektrických obvodů s mechanickými je velmi pěkná.

Hodnocení uvedených publikací a připomínky.

Habilitační práce je koncipována jako výsledek celé etapy teoretické a programové výzkumné činnosti autora a kolektivu, se kterým spolupracoval. Autor uvádí 9 publikací, z nichž časopisecké mají nezanedbatelný impact factor. Lze konstatovat, že uvedené publikace jsou kvalitní, příslušné časopisy a konference zaručují přísné a korektní recenzní řízení. Práce má pro oblast systémů s rozloženými parametry nesporný význam s teoretickým přínosem

Připomínky a otázky k habilitační práci:

1. Postrádám úplný seznam vlastních prací autora.
2. Za nedostatek lze pokládat přílišnou stručnost formulací. Zde se ani tak nejedná o počet stránek, ale o didaktické vysvětlení některých pojmu a postupů.
3. Na s. 12 je uvedena v (2.5) celkem známá definice normy H_∞ , pak je uvedena vazba na normu H_2 , její definice ale chybí. V této části Fig. 2.2 také nepokládám za ilustrativní nebo vysvětlující.
4. V části 3.3 (s. 41) jsou zbytečně opakovány vztahy (2.5), (2.6). Znamená v části 3 Hinf totéž jako H_∞ ? Obojí se v části 3 vyskytuje.
5. Jak jsou využity nebo srovnány postupy s n-D polynomy, zmíněné na s. 7 s referencí [4] ?
6. Používání první osoby „we“, „our“ je v textu nadmíru frekventované.
7. Chybí mi jakékoliv informace o pedagogické činnosti autora. Chápu, že mohou být uvedeny ve zvláštní tabulkové příloze, přesto přehled formulovaný stručným výčtem by mohl být součástí komentáře.
8. Nejednotnost uvádění jmen autorů v seznamu referencí je velmi neobvyklá.

Význam práce pro teoretický rozvoj oboru a praxi.

Předložená práce a vůbec veškerá autorova vědecká aktivita představuje důležitý příspěvek pro oblast analýzy a řízení rozložených systémů definovaných tříd. Vědecká činnost, spolupráce s věhlasnými osobnostmi i institucemi, citační ohlas mají nespornou úroveň i v mezinárodním měřítku. Aplikační přístup využitý v mnoha publikacích je teoretickým, vědeckým a metodickým přínosem pro rozvoj dané problematiky. Doporučuji však doplnění vlastního přínosu autora a uvedení jeho pedagogických aktivit.

Závěr.

Závěrem konstatuji, že publikace v předložené habilitační práci Ing. Zdeňka Huráka, Ph.D. prokazují vysokou vědeckou erudici autora a schopnosti využít teoretické poznatky v praxi. Práce splňuje požadavky kladené podle Zákona o vysokých školách č.111/98 Sb. (§ 72 odst. 3), doporučuji ji k obhajobě v oboru Technická kybernetika.

Ve Zlíně 18.3.2016

[Redacted]
prof. Ing. Roman Prokop, CSc.

Oponentní posudek habilitační práce

Autor práce: **Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D**

Název práce: **Traveling waves and scattering in control of chains**

Oponent: Prof. Ing. Miloš Schlegel, CSc., ZČU v Plzni, Fakulta aplikovaných věd

1. Téma a cíl práce

Předložená habilitační práce (HP) si klade za cíl porozumět novým technikám řízení prostorově distribuovaných systémů a vzájemně propojených systémů se soustředěnými parametry, které se objevují v reálných aplikacích se vzrůstající frekvencí v posledních letech. Praktický zájem o tuto problematiku vyplývá především z požadavků vysoko kvalitního řízení robotů s pružnými komponentami, dále z požadavků na řízení systémů tvořených velkým počtem subsystémů se specifickými vazbami (mobilní roboty, MEMS technologie, atd.). Autor se v práci výhradně soustředí na řízení řetězců stejnorodých dynamických systémů a to na základě vlnových technik zavedených elektro inženýry před mnoha lety. Jeho záměr je využít hluboké výsledky z oblasti elektrických obvodů, transformovat je do jazyka užívaného v oblasti automatického řízení a tím vytvořit nové prostředky pro řízení komponentově-modelovaných multi-fyzikálních systémů. Autor je též inspirován nedávnými výsledky založenými na pojmu vlnové přenosové funkce (WTF) a regulátoru absorbujícího odraženou vlnu, které zavedl W. J. O'Connor v roce 2013. Cíl práce (alespoň podle předmluvy) není vprvé řadě získat nové výsledky, ale hlouběji porozumět vlnovému přístupu k řízení, a tak získat rozhodující intuitivní vhled do problému (a ten zprostředkovat přístupnou formou). Ten v konečném důsledku vždy rozhoduje o úspěchu aplikace jakékoliv teorie.

3. Obsah práce

Práce je napsána čtvrtě v anglickém jazyku, její délka je 72 stran. Je citováno celkem 87 prací. V předmluvě autor přesvědčivě vysvětluje svoji osobní motivaci ke zkoumání daného tématu a uvádí souvislost s dalšími pracemi jeho kolegů z mateřského pracoviště a jeho samotného. Za klíčovou motivační úlohu pokládá řízení kolony automobilů na dálnici.

V úvodu je zformulován problém řízení řetězce dynamických systémů, představeny různé architektury řízení takového řetězce a stručně popsán současný stav dané problematiky. Dále jsou zde naznačeny dosavadní příspěvky autora k tomuto tématu nacházející se buď přímo v habilitační práci nebo v jiných publikacích.

V kapitole 2 je nejprve řešen problém vhodného impedančního zakončení bezztrátové přenosové linky (reflection-free impedance matching problem). Tj. nalezení takové zakončovací impedance, která zabrání vzniku odražené vlny (v dalším budeme tuto impedanci popřípadě admitanci nazývat bezodrazovou). Následně je tento problém originálním způsobem přeformulován do problému nalezení tzv. Hinf optimálního řízení. Poznamenejme, že autor takto důmyslně propojuje dvě na první pohled odlišné oblasti a dva zdánlivě nesouvisející problémy. Poté ukazuje, že hledaná bezodrazová impedance, rovnající se optimálnímu zesílení hledaného proporcionálního regulátoru, vyhovuje jisté kvadratické rovnici. Výsledek je formulován ve tvaru lemmatu 1 a věty 1. Pokus o důkaz věty 1 využívá rozkladu fyzikálních proměnných (v tomto případě napětí a proud) do virtuálních vlnových proměnných představujících po řadě původní a odraženou vlnu. Dále pomocí těchto pojmu zavádí odrazový koeficient (reflectance) a rozptylovou matici (scattering matrix) a konečně konstruuje vlnový model zatížené bezztrátové přenosové linky.

Kapitola 3 je věnována prostorově diskrétním prostředím, tj. řetězcům dynamických systémů se soustředěnými parametry. Autor se soustřídí na řetězce (identických) dvoubranových elektrických obvodů a při slibovaném zobecňování výsledků spoléhá na analogii mezi různými fyzikálními domény. Kromě standardních poznatků z teorie dvoubranů autor opět uvádí úlohu bezodrazového impedančního (admitančního) zakončení řetězce dvoubranů a převádí tuto úlohu (podobně jako v druhé kapitole) na optimalizační úlohu Hinf. Pomocí diagonalizace tzv. inverzní řetězové přenosové funkce jsou opět zavedeny virtuální proměnné korespondující přímé a odražené vlně a následně vlnový model zatíženého řetězce bezztrátových dvoubranů. Pomocí tohoto modelu jsou dále odvozeny některé překvapivé vlastnosti řetězců identických dvoubranů. 1) Bezodrazová zakončovací impedance (matching impedance) nezávisí na délce řetězce. 2) Tato impedance je iracionální a dynamická i v případě řetězení bezztrátového dvojbranu. 3) Bezodrazová impedance zabezpečuje stabilitu uzavřené smyčky z důvodu její pasivity. V dalším je na základě numerických experimentů zformulována hypotéza v podobě věty 2, která tvrdí, že přenos uzavřené smyčky odpovídající zformulované optimalizační úloze Hinf (minimalizace Hinf normy přenosu uzavřené smyčky) konverguje pro rostoucí délku bezztrátového řetězce k tzv. iterativní admitanci. Poznamenejme, že iterativní admittance je admittance, kterou naměříme mezi vstupními svorkami nekonečně dlouhého řetězce identických dvoubranů. Tvrzení věty není překvapivé, její důkaz však pravděpodobně nebude jednoduchý. Ve zbytku kapitoly se autor věnuje analogii mezi elektrickými dvojbrany a mechanickými řetězci a vztahu mezi v habilitační práci dosaženými výsledky a výsledky jiných autorů. Ačkoliv je na první pohled zřejmá podobnost dosažených výsledků s přístupem užívajícím vlnovou přenosovou funkci (W. J. O'Connor), způsob, jakým jsou odvozeny autorem habilitační práce, je odlišný a originální.

3. Hlavní připomínky k práci

- Předně, zvolený hlavní cíl habilitační práce, hlouběji porozumět novým vlnovým technikám řízení a toto porozumění předat specialistům na problémy řízení (v slibované tutoriálové podobě), je obtížný úkol. Specialista na řízení je zpravidla zvyklý pracovat s konečně rozměrným stavovým modelem, s racionální přenosovou funkcí, se signálovými grafy, s vlastními vektory (módy), vlastními čísly, stojatým vlněním a nikoliv s nekonečně dimenzionálními systémy, s iracionálními přenosovými funkcemi, nekauzálními diagramy, běžící vlnou, atd. Způsob zavedení a vysvětlení posledně jmenovaných pojmu v habilitační práci je proveden „implicitně“ na příkladu přenosové linky popsané klasickou vlnovou rovinou. Domnívám se, že pro pohodlí čtenáře by bylo vhodnější nejprve podrobně vysvětlit, co je to vlna. Co mají všechny vlny pozorovatelné v reálném světě společné. Poznamenávám, že podle autora H. Georgi knihy „The Physics of Waves“ jsou to tři fyzikální principy: linearita (princip superpozice), invariantnost vůči posunutí a lokální symetrie (interakcii). Pouze z těchto tří principů autor zmíněné knihy odvozuje veškerou matematiku potřebnou pro popis vlnových modelů dvojitě nekonečných řetězců bezztrátových subsystémů. Dynamické chování konečných řetězců potom ztotožňuje s konečnými úseky nekonečných řetězců s vhodně volenými okrajovými podmínkami. Tento způsob výkladu je navíc velmi blízký způsobu, jakým zavedl W. J. O'Connor vlnovou přenosovou funkci.

- V lemmatu 1 na str. 23 je chybně uveden vztah

$$K_\infty = \sqrt{Y_c} = \left(\frac{C}{L} \right)^{\frac{1}{4}}$$

pro optimální zesílení proporcionalního regulátoru. Správně má být uveden vztah

$$K_\infty = Y_c = \left(\frac{C}{L} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Bohužel, toto nedopatření se objevuje i v důkazu lemmatu a v dalším textu např. ve vztahu (2.52) a ve větě 1 na str. 32.

3. Vztah (2.65)

$$\hat{u}^-(x, s) = e^{\gamma(s)(l-x)} \hat{u}^-(l, s)$$

na str. 27 je chybný. Správně má být

$$\hat{u}^-(x, s) = e^{\gamma(s)(x-l)} \hat{u}^-(l, s).$$

4. Vztah (2.73)

$$\hat{u}_2(s) = Z_L(s) \hat{i}_2(s).$$

na str. 28, vztahující se k obr. 2.9, je chybný. Správně má být

$$\hat{u}_2(s) = -Z_L(s) \hat{i}_2(s).$$

5. Ačkoliv pevně věřím, že věta 1 na str. 31 platí, její důkaz není úplný, neboť není explicitně dokázáno, že nemůže platit $S_L(j\omega) = 0$ pro libovolné $\omega > \tilde{\omega}$, kde $\tilde{\omega}$ je dostatečně velké reálné číslo.

6. Vztah (3.19)

$$\|F\|_\infty = \sup_{w \setminus \{0\}} \frac{\|i\|_2}{\|u\|_2}$$

na str. 41 je chybný. Správně má být

$$\|F\|_\infty = \sup_{u_0 \setminus \{0\}} \frac{\|i_0\|_2}{\|u_0\|_2}.$$

7. Vztah (3.52)

$$\Gamma_L = \frac{Z_{r2}}{Z_{r1}} \frac{Z_L - Z_{r1}}{Z_L - Z_{r2}}$$

na str. 46 je chybný. Správně má být

$$\Gamma_L = \frac{Z_{r2}}{Z_{r1}} \frac{Z_L - Z_{r1}}{Z_L + Z_{r2}}.$$

8. V práci mně chybí podrobnější porovnání výsledků dosažených autorem v kapitole 3 s výsledky předchozích prací týkajících se vlnového přístupu k řízení (W. J. O'Connor). Například postrádám odpověď na otázku, zda jsou výsledky dosažené autorem v nějakém smyslu silnější.

9. V práci postrádám aplikační příklad demonstруjící výhody a nevýhody předloženého přístupu.

10. V práci není zodpovězena otázka, zda uvedený přístup lze v nějakém smyslu zobecnit pro nehomogenní řetězce.

3. Zhodnocení práce

Habilitační práci Zdeňka Huráka jsem si s potěšením přečetl a mohu jednoznačně konstatovat, že cíl stanovený autorem v předmluvě, tj. poskytnout svým kolegům vhled do vlnového přístupu k řízení, byl (alespoň) v mém případě dokonale splněn. Před prostudováním jeho práce jsem měl pouze povrchní znalost o tomto novém přístupu, nyní jsem jím nadšen a mám chuť ho při nejbližší příležitosti aplikovat. Jednoznačnou zásluhu na tom má autor práce. Jeho fascinace problémem je nakažlivá, jeho úsporný styl nutí čtenáře číst s tužkou v ruce, jeho chyby nutí přemýšlet, jeho otevřené problémy volají po vyřešení.

4. Závěr

Habilitační práce má vysokou odbornou úroveň a je napsána přehledně a srozumitelně. Z přehledu literatury vyplývá, že Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D. má rozsáhlou publikační činnost a má též výborné pedagogické schopnosti. Z těchto důvodů jsem přesvědčen, že Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D. splňuje podmínky podle §72 zákona č. 111/1998 o vysokých školách. Doporučuji práci k obhajobě a udělení titulu docent.



V Plzni, dne 20. 4. 2016

Miloš Schlegel
ZČU v Plzni, Fakulta aplikovaných věd