

Posudek na disertační práci Luboše Spačka „Robotické systémy pro rychlé a nestabilní procesy“

Disertační práce Luboše Spačka pojednává o možnostech stabilizace a řízení inherentně nestabilních systémů s využitím průmyslových robotů (manipulátorů). Z mého pohledu jde o zajímavou, komplexní a dobře odvedenou práci. Souhlasím s autorem, že využití standardních a čím dál rozšířenějších průmyslových robotů pro dynamicky netriviální problémy zahrnující nestabilní soustavy není dostatečně prozkoumaná oblast, s velkým aplikačním potenciálem. Jde tedy o aktuální a relevantní výzkumné téma a stojí za to se jím zabývat.

Stanovené cíle autor práce splnil bezezbytku. Jako use case je navržena, zrealizována a zdokumentována experimentální soustava řízení kuličky na ploše sestávající z průmyslového robota YuMi coby manipulátoru a dotykového displeje použitého pro snímání polohy kuličky. Jsou zkoumány vhodné metodiky návrhu řídicích zákonů, jednak klasických PID a stavových regulátoru, a zejména polynomiálně navržených kvadraticky optimálních algoritmů řízení se dvěma stupni volnosti. Vedle klasických ukazatelů jako je velikost překmitu nebo doba ustálení je vzhledem k využití průmyslového manipulátoru kladen důraz na redukci akčních zásahů, jejich velikostí a rychlostí změny. Práce obsahuje analýzu výsledků numerických simulací i experimentů na reálném zařízení.

Postup řešení z pohledu návrhu zákonů řízení hodnotím jako standardní a správný. Prvním krokem je sestavení simulačního modelu, zde autor využil Lagrange-Eulerův formalismus, který se pro multibody soustavy nabízí. Následuje identifikace parametrů a redukce a zjednodušení modelu, na němž je návrh řídicích algoritmů založený. Z mého pohledu je otázka, zda komplexní lagrangeovské rovnice bylo nutné vůbec sestavovat, když dynamika pohybu robota byla nahrazena systémem prvního řádu a pohyb kuličky v jednotlivých osách v reakci na náklon plošiny je zřejmý (dvojitý integrátor, pokud neuvažujeme disipativní síly). Dále nevím, proč autor tolik lpí na aproximaci dynamiky náklonu plošiny systémem prvního řádu, když je zřejmé – a autor sám to připouští – že by se druhý řád jevil jako vhodnější. Autorem polynomiálně navržený kvadraticky optimální regulátor se dvěma stupni volnosti pracuje velmi dobře, jak autor dokládá srovnáním se standardními PID a stavovými řešeními. Validace a verifikace navrženého řízení je přesvědčivá, výsledky simulací i experimentů vycházejí dobře a jsou ve shodě.

Aplikaci výsledků vidím, stejně jako autor, ve vysokoškolské výuce dynamických systémů a jejich řízení a v akademickém výzkumu. Experiment může představovat atraktivní validační platformu nových výzkumných výsledků v oblasti metod návrhu řídicích algoritmů. Ostatně i autorem použitá metodika návrhu řízení pro regulátor se dvěma stupni volnosti, pocházející od výzkumného týmu z pracoviště autora, se ukazuje jako velmi efektivní právě díky demonstraci na tomto experimentu.

Formální úpravu disertační práce a její jazykovou úroveň hodnotím jako velmi dobrou. Práce je psaná kvalitní angličtinou s minimem překlepů a lingvistických nesrovnalostí. Kdybych měl jednu nectnost vytknout, bylo by to použití sousloví "more optimal" na několika místech. Práce je dobře a logicky členěná a rozsahově přiměřená. Jenom některé vysvětlující sekce, kde se autor pokouší vysvětlit ve zkratce vybrané detaily z teorie řízení (například spektrální faktorizaci nebo návrh LQ řízení pomocí polynomiálního přístupu) osobně nepovažuji za úplně povedené: myslím, že čtenář, který tyto koncepty nezná, je z výkladu stejně nepochopí. Více na místě by podle mě bylo například pouhé uvedení postupu řešení ve formě tabulky, pseudokódu nebo algoritmu, se specifickými odkazy na vhodné tutoriály nebo učebnice například od Vladimíra Kučery.

Autor publikoval výsledky svého výzkumu ve čtrnácti příspěvcích na mezinárodních konferencích, ve většině coby první autor, a v článku v impaktovaném časopise Machines, rovněž jako první autor (WoS ranking Q2, vydavatel MDPI). Podle mého názoru jde o přiměřený publikační profil, z mého pohledu podstatná podmínka publikace výsledků práce v impaktovaném časopise byla splněna.

Závěr: Předkládaná disertace je podle mého názoru zajímavá, komplexní a dobře odvedená práce. Disertační práci doporučuji k obhajobě.

Dotazy na uchazeče:

1. Prosím vyjádřete se k mým výhradám v odstavci věnovanému postupu řešení.
2. Prosím vysvětlíte „rotační“ člen v rovnici (4.7), kde se přímo sčítají momenty setrvačnosti plochy a kuličky.
3. Pokud je třeba brát ohled na velikost akčních zásahů, případně jejich změn, nabízí se využití MPC (Model Predictive Control). Prosím vyjádřete se k této možnosti a diskutujte výhody a nevýhody MPC ve srovnání s Vámi vybranou polynomiální metodou návrhu kvadraticky optimálního regulátoru.

V Praze dne 21.5.2023

Doc. Ing. Martin Hromčík, Ph.D. Práze
FEL ČVUT v Praze
Katedra řídicí techniky
121 35 Praha 2, Karlovo nám.13
Tel.: 224922372 Fax: 224918646 ①

OPPONENT'S EVALUATION of doctoral thesis

Author of doctoral thesis: **Ing. Ľuboš Spaček**

The title of doctoral thesis: **Robotic Systems in Fast and Unstable Processes**

a) Topicality

The topic itself, as presented in the title of the thesis („Robotic Systems in Fast and Unstable Processes“), can be considered topical and worth research in the area of robotics. This topic should have important implications for various scenarios in the use of robots within their typical (or less typical) work settings and solutions offered in this area could be helpful for adapting particular implementations to specific conditions.

b) Thesis objectives

Student presents 6 objectives in total: these objectives include choosing suitable type of robot, performing simulations and experimental validation, choosing suitable type of sensor for BP system and deriving appropriate control law. It can be safely concluded that all of these stated objectives were successfully fulfilled in the work. More particularly, it was decided to use ABB Yumi cobot as a suitable work platform to work with, 2-DOF LQR as a main controller and a resistive touchscreen used as a plate for BP system. I am of the opinion that all the objectives were set appropriately and can be considered well aligned with the main focus of the thesis.

c) Methods

Author uses traditional model-based control design approach, where at first the analytical model of BP setup is derived. Using Lagrange formalism, a system of four nonlinear differential equations is derived which is subsequently linearized for the controller design. In addition to that, identification of transfer functions of certain order is carried out in other cases. As a main controller, 2-DOF LQR method is chosen – the selection of methods is standard and their use is logical and appropriate. For a controller, method of spectral factorization is chosen over Riccati equation solving. Regarding the hardware selected for experimental part, two devices are most prominent, i.e. selection of a robot as well as the selection of a plate. ABB Yumi cobot is an interesting option, which offers a perspective type of a collaborative robot that is suitable for special tasks in e.g.HRI – it has to be said that considering the condition of BP problem, it appears that many other robots could be used. The selection of a plate was probably done with accessibility and affordability in mind and while it could be treated in a greater detail, this was not the focal point of the thesis.

The results can be divided into two main parts, i.e. simulation part and experimental part. In these parts, doctoral student carried out simulations with different types of controllers and compared control performance. These simulations were based on the simplified transfer function models

obtained from the system identification process. Taking this as a whole design process of a particular problem at hand, this can be seen as the most important contribution of doctoral student.

d) Contributions

It is undeniable that generally speaking the thesis represents a contribution to the field. Looking at this more specifically, I see the area of robotics education as being most likely candidate to benefit from this work. It offers the solution to a well-known problem in an interesting and systematically established way. It is actually valuable and multidisciplinary work, which includes concrete solutions in several fields like automatic control, robotics and system identification. As such, it can be helpful for other students trying to get hands-on experience with particular hardware and using effective software approaches.

e) Presentation

Regarding the presentation, use of language and overall appearance, the thesis is prepared very well. I have not observed any serious language problems and also the number of typical typographical errors is kept at the minimum. Equally, the use of language in terms of its technical quality is appropriate and more or less correspond to scientific standards set in typical research papers. Graphical quality of the thesis is very good – all figures have sufficient resolution and graphs showing responses or function relationships are transparent and well readable. In addition to that, the work is structured logically and contains theoretical introduction, simulation part and experimental part followed by various implications of the work and conclusion.

f) Publication record

During his study the student published 15 research works in total, 14 of which appear to be published in conference proceedings and/or books and one in WoS journal. The number of works itself is above average for a PhD student but the proportion of conference/journal papers could be higher in favor of journal articles. Nevertheless, the publication record as whole is respectable and attests to a good level of research maturity.

g) Remarks and questions

As was gently implied in the contributions section, I see the area education as being most likely to be affected by this thesis. On the other hand, my major concern regarding this work would be its scientific (and not educational) contribution. Considering the title of the work, which is in itself quite general, I see the idea of generalizing the implications of solving BP problem handled by a cobot to fast and unstable processes (which might be of very miscellaneous nature in practice) as quite far-fetched. There is an attempt to reconcile the idea of this in the last sections of the work, but I did not see them as very convincing. In spite of this, once this first obstacle is somewhat overcome, further development of the work is commendable and nicely done.

I also see certain parts of experimental section of the thesis to be somewhat confusing in its presentation and/or description. In some cases the experiments (especially in terms of presented responses) should have been described better so that it is clear what they actually represent or to what excitation they were actually obtained (e.g. Figs 6.8 and 6.18).

The work contains 51 cited references – this number of works is not particularly high and I would maybe expect a little more detailed literature review to be a part of this thesis. Moreover, only some 20 works are actually from years after 2015 – again, somewhat higher proportion of more recent works in the field would be expected.

Questions:

1. What is actually meant by the word expression "pseudo identification"? Its explanation in the text is somewhat lacking and could not see a reason for using it.
2. In section 6.1.5 student tested the sensitivity of the controller to uncertainties in parameters. It is not explicitly stated in this section if it applies to 2-DOF LQR controller (but I suppose it does) – what about the sensitivity of other compared controllers? Were they tested as well? If not, why?
3. In a section where hardware setup is described it is mentioned that capacitive plate could also be used. What would be the pros and cons of using capacitive plate and why you decided to use a resistive plate?
4. The end part of the experimental section shows tests with harmonic excitation. Clearly, the gains had to be modified in order to obtain acceptable control performance. This, expectedly, would reduce control performance for the step-like reference signal. Would you see adaptive control as suitable way of addressing this and did you consider it when working on your thesis?

Based on the overall evaluation it can be safely stated that the author of the thesis proved to be knowledgeable in the field and submitted a work, which is valuable and of good quality. Multidisciplinary character of his work attests to his ability to work in several areas and contributes to its further development. Therefore I

recommend work to be defended

in Prešov 15.5.2023

doc. Ing. Alexander Hošovský, PhD.

opponent



Oponentský posudek disertační práci:

Robotic Systems in Fast and Unstable Processes

Autor práce: Ing. Ľuboš Špaček

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Posudek vypracoval: Prof. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.,

Vysoké učení technické v Brně, FEKT

Tématem disertační práce jsou řídicí systémy průmyslových manipulátorů pro řízení rychlých a nestabilních procesů. Konkrétně se autor zabývá praktickou aplikací stabilizace laboratorního modelu kuličky na plošině na které ukazuje postupy pro její stabilizaci pomocí sedmiosého průmyslového manipulátoru.

Konstatuji, že zvolené téma je aktuální a dostatečně složité pro disertační práci na technické univerzitě, zejména s přihlédnutím na možné využití ve výuce.

Stylistická podoba práce je na velmi dobré úrovni. Práce je psána v angličtině, text je velmi dobře čitelný a srozumitelný. V textu je přiměřené množství překlepů a chyb.

Grafická úroveň práce je poměrně dobrá, moje kopie práce je však v případě některých grafů na hranici čitelnosti – to přičítám spíše kombinaci velikosti stránek a kvality tisku. Ke grafům v práci mám několik připomínek. Jednak ne vždy jsou dobře popsány osy grafu (např. 6.23, 6.24, 6.26, 6.27). Dále bych prosil o vysvětlení proč osy grafů se zobrazením polohy kuličky (např. 6.25) mají uvedenu bezrozměrnou veličinu, když poloha dle mého názoru jednoznačně odpovídá fyzikálně poloze kuličky v metrech. Dále bych doporučil

uvádět jednoznačněji popisky obrázků – např. 6.26 a 6.29 mají stejné popisky. Pro pochopení práce by bylo vhodnější uvést rozdílový parametr u každého z grafů.

Práce je zpracována celkově na 85 stranách, což považuji za spodní přijatelnou hranici pro podobně komplexní téma. Ocenil bych podstatně obsáhlejší teoretický úvod práce. Členění práce na kapitoly a podkapitoly je uděláno přehledně a logicky. Cíle práce jsou zmíněny v kapitole 3 a jsou splněny.

Student dobře pracuje s literaturou, což dokazují relevantní odkazy v textu.

Význam práce spatřuji zejména v oblasti výuky, zajímavým výsledkem je také srovnání dvou přístupů při implementaci – tj. zasílání požadovaných úhlů do plánovače manipulátoru a jeho obejití zasíláním požadovaných úhlů přímo do regulátorů manipulátoru.

Na základě předchozího textu konstatuji, že i přes výtky jsem přesvědčen, že práce dokazuje studentovy schopnosti samostatné vědecké práce i práce ve vědeckém týmu, nese všechny prvky kvalitní dizertační práce a práci

DOPORUČUJI K OBHAJOBĚ.

Otázky:

1. Srovnejte předpokládanou kvalitu regulace v případě použití v průmyslu běžně používaných šestiosých manipulátorů s třídou nosnosti přibližně 6 kg.
2. Plánujete pokračovat v projektu s tím, že by takto vznikla laboratorní úloha pro výuku robotického předmětu na univerzitě?

V Brně dne 26. 5. 2023

Prof. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.