

Ladění spektra systémů se zpožděním pomocí moderních optimalizačních metod

Školitel: doc. Ing. Libor Pekař, Ph.D.

Konzultant: ---

Ústav fakulty: Ústav automatizace a řídicí techniky

Studijní program: Automatické řízení a informatika

Anotace:

Zpoždění tvoří generickou součást mnoha nejenom průmyslových procesů a systémů. Působí-li ve zpětných vazbách uvnitř řízeného systému nebo není-li dostatečně kompenzováno, má zpětnovazební řídicí systém nekonečné spektrum. Tento jev zřejmě zhoršuje kvalitu regulace, zejména z hlediska stability, robustnosti a kmitavosti odezvy. Pokud zákon řízení (regulátor) obsahuje jeden či více stavitelných parametrů, lze tyto využít pro vhodné tvarování spektra zpětnovazebního systému, např. pro různé předepsané polohy konečně mnoha zpětnovazebních pólů. Zároveň je přirozenou snahou celé zbývající spektrum posunout co nejvíce vlevo v komplexní rovině, tedy do „stabilní“ oblasti. Tato úloha je obtížná a komplexní zejména pro tzv. neutrální systémy se zpožděním, kde celé spektrum pólů se obecně chová nespojitě vzhledem k hodnotám ladicích parametrů regulátoru. Zároveň je stabilita takovýchto systémů citlivá na sebemenší změny v hodnotách zpoždění.

Cílem práce je rozvinout a implementovat moderní optimalizační algoritmy pro řešení nehladkých, nekonvexních a nelipschitzovských optimalizačních úloh právě na ladění nekonečného spektra systémů se zpožděním pro vhodně zvolené pokročilé zákony řízení (pref. nikoliv typu PID). Takovou optimalizační úlohu lze formulovat mnoha způsoby (např. jako minimalizaci abscisy residuálního spektra, zajištění maximální útlumu, určení těžiště oblasti stabilizujících parametrů aj.). Práce by se měla zaměřit i na posouzení či zajištění robustnosti řídicího systému. Navržené postupy by měly být ověřeny jednak simulačně (např. v prostředí Matlab-Simulink) a jednak v laboratorních podmínkách.

Hlavní oblasti výzkumu zahrnují:

- Studium pokročilých řídicích metod stanovení zákona řízení pro systémy se zpožděním retardovaného i neutrálního typu.
- Návrh optimálních strategií umístění či posouvání pólů a tvarování spektra řídicích systémů, pokud řízený systém vykazuje vstupně-výstupní či stavová zpoždění.
- Formulace optimalizačních úloh pro ladění řídicích parametrů při tvarování nekonečně-dimenzionálního spektra systému řízení.
- Rozvoj moderních metod parametrické optimalizace a jejich nasazení na formulované optimalizační problémy.
- Srovnání dosažených optimálních numerických výsledků s teoretickými předpoklady.
- Simulační ověření navržených přístupů a algoritmů.
- Experimentální ověření dosažených výsledků v laboratorních podmínkách.

Literatura:

- [1] AMRANE, Souad; BEDOUHENE, Fazia; BOUSSAADA, Islam and NICULESCU, Silviu-Iulian. On qualitative properties of low-degree quasipolynomials: Further remarks on the spectral abscissa and rightmost-roots assignment. *Bulletin Mathématique de la Société des Sciences Mathématiques de Roumanie*. 2018, vol. 61, no. 109, pp. 361-381.
- [2] MICHIELS, Wim and NICULESCU, Silviu-Iulian. *Stability, Control, and Computation for Time-Delay Systems: An Eigenvalue-Based Approach, Second Edition*. SIAM, 2014. ISBN 9781611973631.
- [3] TORRES-GARCÍA, Diego; MÉNDEZ-BARRIOS, César-Fernando and LI, Xu-Guang. Stabilization of second-order non-minimum phase system with delay via PI controllers: spectral abscissa optimization. *IEEE Access*. 2024, vol. 12, pp. 170851-170867. ISSN 2169-3536. DOI: 10.1109/access.2024.3499748.
- [4] AMMARI, Kaïs; BOUSSAADA, Islam; NICULESCU, Silviu-Iulian and TLIBA, Sami. Prescribing the best decay rate of the wave equation using internal delayed feedback damping. *Communications in Analysis and Mechanics*. 2026, vol. 18, no. 1, pp. 1-36. ISSN 2836-3310. DOI: 10.3934/cam.2026001.
- [5] CAI, Tiao-Yang; HWANG, Chyi; WANG, Tzu-Chi and LU, Li-Shin. A Jacobian-based frequency-sweeping approach for constructing stability crossing curves of systems with two delays. *Asian Journal of Control*. 2025, vol. 27, no. 5, pp. 2205-2223. ISSN 1561-8625. DOI: 10.1002/asjc.3601.
- [6] ROJAS-RICCA, Bryan; MÉNDEZ-BARRIOS, César-Fernando; MONDIÉ, Sabine and NICULESCU, Silviu-Iulian. Design of delay-based proportional integral controllers (δ -PI) for second-order LTI systems. *IFAC-PapersOnLine*. 2024, vol. 58, no. 27, pp. 13-18. ISSN 2405-8963. DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.10.292.
- [7] LIANG, Song and WANG, Zaihua. A full characterization of the critical stability curves/surfaces of linear systems with multiple delays. *Meccanica*. 2025, vol. 60, no. 8, pp. 2437-2450. ISSN 0025-6455. DOI: 10.1007/s11012-025-02035-w.
- [8] ÇETINTAŞ, Gülten; ÖZYETKIN, Münevver Mine and ETHEM HAMAMCI, Serdar. A simple graphical-based proportional–integral–derivative tuning method for time-delay systems. *ELECTRICA*. 2023, vol. 23, no. 2, pp. 376-384. ISSN 2619-9831. DOI: 10.5152/electr.2022.22147.
- [9] MICHIELS, Wim; NICULESCU, Silviu-Iulian; BOUSSAADA, Islam and MAZANTI, Guilherme. On the relations between stability optimization of linear time-delay systems and multiple rightmost characteristic roots. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*. 2024, vol. 37, no. 1, pp. 143-166. ISSN 0932-4194. DOI: 10.1007/s00498-024-00398-1.
- [10] GAO, Qingbin; CAI, Jiazhi; WU, Hao; ZHOU, Kai and PEKAŘ, Libor. Complete stability analysis and optimal design for dual-state-feedback delayed resonator. *Journal of the Franklin Institute*. 2026, vol. 363, no. 4, art. no. 108432. ISSN 0016-0032. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2026.108432.