

## Využití a kompenzace zpoždění v kyberfyzikálních systémech

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

**Konzultant:** ---, ---

**Ústav fakulty:** Ústav automatizace a řídicí techniky

**Studijní program:** Informační technologie

### **Anotace:**

Kyberfyzikální systémy jsou systémy sestávající z fyzických entit řízených počítačovými algoritmy. Tvoří jeden ze základních kamenů Průmyslu 4.0, jsou nedílnou součástí internetu věcí. Jsou schopny řídit daný technologický celek, autonomně se rozhodovat a představují samostatný prvek komplexních výrobních celků a nadsystémů.

Jelikož se běžně jedná o rozsáhlé systémy s časově i prostorově rozloženými prvky, které často vzájemně komunikují na velké vzdálenosti, vyskytující se zde přirozeně mnohá zpoždění. V důsledku zpětných vazeb uvnitř systému dochází i k vlivu vnitřních zpoždění, která podstatným způsobem ovlivňují dynamiku či dokonce stabilitu těchto systémů. Ve většině případů je vhodné či dokonce nutné vliv zpoždění kompenzovat.

Na druhou stranu lze zpoždění využít i pro zlepšení chování celého kyberfyzikálního systému (tzv. „delay scheduling“). Existují totiž tzv. „okna ve zpoždění“, které určují rozsahy hodnot zpoždění, které přinášejí jisté výhodné dynamické vlastnosti systému.

Cílem disertační práce je navrhnout vhodné metody kompenzace zpoždění, či naopak jeho využití, při stabilizaci a úpravě dynamických vlastností kyberfyzikálních systémů.

### **Literatura:**

[1] EROL, H. Ersin a İFTAR, Altuğ. Decentralized Controller Design by Continuous Pole Placement for Incommensurate-Time-Delay Systems. Online. IFAC-PapersOnLine. 2015, roč. 48, č. 12, s. 257-262. ISSN 24058963. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.09.387>. [cit. 2023-11-06].

[2] EROL, H. Ersin a İFTAR, Altuğ. Decentralized time-delay controller design for systems described by delay differential-algebraic equations. Online. Transactions of the Institute of Measurement and Control. 2021, roč. 43, č. 14, s. 3129-3148. ISSN 0142-3312. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/01423312211015961>. [cit. 2023-11-06].

[3] ÖZER, S. Mert a İFTAR, Altuğ. Eigenvalue optimisation-based centralised and decentralised stabilisation of time-delay systems. Online. International Journal of Control. 2022, roč. 95, č. 8, s. 2245-2266. ISSN 0020-7179. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00207179.2021.1906446>. [cit. 2023-11-06].

[4] ÖZER, S. Mert a İFTAR, Altuğ. Delay-based stabilisation and strong stabilisation of LTI systems by nonsmooth constrained optimisation. Online. International Journal of Control. 2023, roč. 96, č. 8, s. 2044-2057. ISSN 0020-7179. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00207179.2022.2080121>. [cit. 2023-11-06].

[5] GAO, Weikang; YE, Hua; LIU, Yutian; WANG, Liang a CI, Wenbin. Comparison of three stability analysis methods for delayed cyber-physical power system. Online. In: 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED). IEEE, 2016, s. 1-5. ISBN 978-1-4673-9070-5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/CICED.2016.7576361>. [cit. 2023-11-06].

- [6] OLGAC, Nejat; ERGENC, Ali Fuat a SIPAHI, Rifat. "Delay Scheduling": A New Concept for Stabilization in Multiple Delay Systems. Online. *Journal of Vibration and Control*. 2005, roč. 11, č. 9, s. 1159-1172. ISSN 1077-5463. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/1077546305055777>. [cit. 2023-11-06].
- [7] XU, Luo; GUO, Qinglai; WANG, Zhongguan a SUN, Hongbin. Modeling of Time-Delayed Distributed Cyber-Physical Power Systems for Small-Signal Stability Analysis. Online. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2021, roč. 12, č. 4, s. 3425-3437. ISSN 1949-3053. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TSG.2021.3052303>. [cit. 2023-11-06].
- [8] YE, Hua; LI, Tairan a LIU, Yutian. Time Integration-Based IGD Methods for Eigen-Analysis of Large Delayed Cyber-Physical Power System. Online. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2020, roč. 35, č. 2, s. 1376-1388. ISSN 0885-8950. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2019.2936871>. [cit. 2023-11-06].
- [9] YE, Hua; LIU, Yutian a ZHANG, Peng. Efficient Eigen-Analysis for Large Delayed Cyber-Physical Power System Using Explicit Infinitesimal Generator Discretization. Online. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2016, roč. 31, č. 3, s. 2361-2370. ISSN 0885-8950. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2463109>. [cit. 2023-11-06].
- [10] YE, Hua; MOU, Qianying a LIU, Yutian. Calculation of Critical Oscillation Modes for Large Delayed Cyber-Physical Power System Using Pseudo-Spectral Discretization of Solution Operator. Online. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2017, roč. 32, č. 6, s. 4464-4476. ISSN 0885-8950. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2686008>. [cit. 2023-11-06].
- [11] YOHANANDHAN, Rajaa Vikhram; ELAVARASAN, Rajvikram Madurai; MANOHARAN, Premkumar a MIHET-POPA, Lucian. Cyber-Physical Power System (CPPS): A Review on Modeling, Simulation, and Analysis With Cyber Security Applications. Online. *IEEE Access*. 2020, roč. 8, s. 151019-151064. ISSN 2169-3536. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016826>. [cit. 2023-11-06].