

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0007****Optimálne riadenie pre procesný priemysel**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.**Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave - Fakulta chemickej a potravinárskej technológie**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky, FCHPT STU v Bratislave

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Nemecko: TU Dortmund, RU Bochum, TU Berlin

Nórsko: NTNU Trondheim

Francúzsko: ParisTech

Čína: ShanghaiTech

Anglicko: Imperial College

Švajčiarsko: EPFL Lausanne

Belgicko: KU Leuven

Thajsko: Chulalongkorn University

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Priemyselný úžitkový vzor, P. Bakaráč – M. Klaučo – J. Oravec: Electronická senzorová doska, 2019.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

Monografia:

M. Klaučo – M. Kvasnica: MPC-Based Reference Governors, Editor(i): M. J. Grimble, A. Ferrara, Springer, 2019.

Plenárne prednášky:

M. Fikar: Optimal Control of Membrane Processes. V Process Systems Engineering (PSE) Asia, Chulalongkorn University, Bangkok, Thajsko, 6–6, 2019.

M. Kvasnica: Low-Complexity Model Predictive Control for Systems with a Fast Dynamics. Editori: I. Petráš, J. Kačur, Proceedings of the 21st IEEE International Carpathian Control Conference (ICCC, 2020).

Časopisecké publikácie:

M. Klaučo, M. Kvasnica: Control of a boiler-turbine unit using MPC-based reference governors. Applied Thermal Engineering, 110, 1437–1447, 2017.

N. A. Nguyen – S. Olaru – P. Rodríguez-Ayerbe – M. Kvasnica: Convex liftings-based robust control design. Automatica, 77, 206–213, 2017.

J. Drgoňa, D. Picard, M. Kvasnica, L. Helsen: Approximate model predictive building control

via machine learning. Applied Energy, 218, 199–216, 2018.

R. Paulen – M. Fikar: Dynamic real-time optimization of batch processes using Pontryagin's minimum principle and set-membership adaptation. Computers & Chemical Engineering, 128, 488–495, 2019.

Y. Jiang – J. Oravec – B. Houska – M. Kvasnica: Parallel MPC for Linear Systems with Input Constraints. IEEE Transactions on Automatic Control, 1–8, 2020.

Uplatnenie výsledkov projektu

Najdôležitejšie výsledky projektu v oblasti redukcie zložitosti a výpočtovej náročnosti explicitného prediktívneho riadenia sú implementované v balíku MPT, ktorého počet sťahnutí za posledný rok presiahol 500. Výsledky projektu v oblasti optimálneho riadenia sú implementované v balíku dynopt. Oba tieto nástroje sú dostupné pod otvorenou licenciou. Teoretické výsledky základného výskumu majú potenciál byť aplikované v praxi do 10 rokov.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Všetky najdôležitejšie ciele sa podarilo nielen naplniť v plnom rozsahu ale aj vysoko prekročiť. Problémy optimálneho riadenia procesov opísaných nelineárnymi modelmi na vyššej úrovni sme riešili numerickými metódami. Taktiež sme sa zamerali na analytické riešenie niektorých úloh a využili sme Pontryaginov princíp minima. Spojenie vyššej a nižšej úrovne sme uvažovali pomocou tzv. optimálnych referencie governorov, čiže generátorov žiadaných veličín vyššou úrovňou pre nižšiu úroveň. V oblasti lineárneho MPC sme sa zamerali na explicitný variant a podarilo sa vyvinúť metódy, ktoré výrazne znižujú výpočtovú a pamäťovú náročnosť a rozširujú oblasť procesov, pre ktoré je táto trieda metód použiteľná. Jedná sa o tzv. bezregiónové explicitné MPC a tiež o paralelné MPC. Navrhli sme viaceré metódy ochrany riadiacich algoritmov pred útokmi na sieťovú infraštruktúru (Lyapunovova stabilita, blockchain). Na laboratórnej úrovni sme aplikovali vyvinuté metódy na viaceré jednotkové procesy chemických a potravinárskych technológií. Silnou stránkou projektu bolo sprístupnenie výsledkov v podobe voľne dostupných softvérových balíkov (MPT, dynopt).

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

All the most important goals were not only fulfilled, but also well exceeded. We solved the problems of optimal control of processes described by nonlinear models at a higher level by numerical methods. We also focused on the analytical solution of some problems and used Pontryagin's principle of minimum. Furthermore, we considered the connection of higher and lower level using the so-called optimal references of governors that generate setpoints at a higher level for a lower level. In the field of linear MPC, we focused on the explicit variant and managed to develop methods that significantly reduce computational and memory requirements and expand the range of processes for which this class of methods is applicable. This is the so-called regionless explicit MPC and also parallel MPC. We have proposed several methods for protecting control algorithms against cyberattacks on network infrastructure (Lyapunov stability, blockchain). At the laboratory level, we applied the developed methods to several unit processes of chemical and food technologies. The strength of the project was the availability of results in the form of open-source software packages (MPT, dynopt).