

## Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu **SK-IL-RD-18-0008****Modelovanie a riadenie kolón autonómnych a konvenčných vozidiel: laboratórna experimentálna analýza**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Mikuláš Huba, PhD.**Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave - Fakulta informatiky a informačných technológií**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav automobilovej mechatroniky FEI STU

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Technion-Israel Institute of Technology, Izrael

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

podaná patentová prihláška v SR

Číslo prihlášky: 161-2019

Pôvodca (-ovia): Huba Mikuláš, prof. Ing., PhD.; Sadmelijská 1, 831 06 Bratislava-Rača; SK;

Ďapák Peter, Ing., PhD.; Jasovská 41, 851 07 Bratislava-Petržalka; SK;

Chamraz Štefan, Ing., PhD.; Jura Hronca 5, 841 02 Bratislava-Dúbravka; SK;

Bisták Pavol, Ing., PhD.; Nejedlého 69, 841 02 Bratislava-Dúbravka; SK;

Žáková Katarína, doc. Ing., PhD.; Ožvoldíkova 1, 841 02 Bratislava-Dúbravka; SK

Prihlasovateľ (-ia)/ majiteľ (-ia): Slovenská technická univerzita v Bratislave; Vazovova 5, 812 43 Bratislava-Staré Mesto; SK

udelené úžitkové vzory v SR

ĎAPÁK, Peter - MATIŠÁK, Jakub. Laboratórny model lietajúceho stroja s jedným stupňom voľnosti : Úžitkový vzor č. 8947, Dátum o zápise ÚV : 2.12.2020, Vestník ÚPV SR č.

12/2020. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2020. 6 s. Dostupné na internete:

HUBA, Mikuláš - ĎAPÁK, Peter - CHAMRAZ, Štefan - BISTÁK, Pavol - ŽÁKOVÁ, Katarína.

Zapojenie pozorovateľa vstupnej poruchy s filtrom FIR pre sústavy s dynamikou 2. rádu a dostupnou prvou de-riváciou výstupu : Úžitkový vzor č. 9047, Dátum o zápise ÚV : 5.2.2021, Vestník ÚPV SR č. 4/2021. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2021. 9 s. Dostupné na internete:

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

ADC01 BÉLAI, Igor - HUBA, Mikuláš - BURN, Kevin - COX, Chris. PID and filtered PID control design with application to a positional servo drive. In Kybernetika. Vol. 55, No. 3 (2019), s. 540-560. ISSN 0023-5954 (2019: 0.664 - IF, Q4 - JCR Best Q, 0.241 - SJR, Q3 -

SJR Best Q). V databáze: CC: 000495004100007 ; DOI: 10.14736/kyb-2019-3-0540.

ADC02 HUBA, Mikuláš - BISTÁK, Pavol - VRANČIČ, Damir - ŽÁKOVÁ, Katarína. Asymmetries in the disturbance compensation methods for the stable and unstable first order plants. In *Symmetry*. Vol. 12, Iss. 10 (2020), Art. no. 1595 [25] s. ISSN 2073-8994 (2020: 2.713 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.385 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/sym12101595 ; CC: 000586227300001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85092465022.

ADC03 HUBA, Mikuláš - VRANČIČ, Damir - BISTÁK, Pavol. PID control with higher order derivative degrees for IPDT plant models. In *IEEE Access*. Vol. 9, (2021), s. 2478-2495. ISSN 2169-3536 (2020: 3.367 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.587 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000606566600001 ; WOS: 000607730600186 ; SCOPUS: 2-s2.0-85098781743 ; IEEE: 9306759 ; DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3047351.

ADC04 HUBA, Mikuláš - VRANČIČ, Damir. Delay equivalences in tuning PID control for the double integrator plus dead-time. In *Mathematics [elektronický zdroj]*. Vol. 9, iss. 4 (2021), Art. no. 328 [14] s. ISSN 2227-7390 (2020: 2.258 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.495 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85100970522 ; CC: 000624174800001 ; WOS: 000624174800001 ; DOI: 10.3390/math9040328.

ADC05 HUBA, Mikuláš - OLIVEIRA, Paulo Moura - BISTÁK, Pavol - VRANČIČ, Damir - ŽÁKOVÁ, Katarína. A set of active disturbance rejection controllers based on integrator plus dead-time models. In *Applied Sciences*. Vol. 11, iss. 4 (2021), Art. no. 1671 [19] s. ISSN 2076-3417 (2020: 2.679 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.435 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85100932381 ; WOS: 000632135300001 ; CC: 000632135300001 ; DOI: 10.3390/app11041671.

ADC06 HUBA, Mikuláš - BISTÁK, Pavol - VRANČIČ, Damir. 2DOF IMC and smith-predictor-based control for stabilised unstable first order time delayed plants. In *Mathematics [elektronický zdroj]*. Vol. 9, Iss. 9 (2021), Art. no. 1064 [23] s. ISSN 2227-7390 (2020: 2.258 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.495 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/math9091064 ; WOS: 000650547200001 ; CC: 000650547200001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85106640712.

ADC07 HUBA, Mikuláš - VRANČIČ, Damir. Extending the model-based controller design to higher-order plant models and measurement noise. In *Symmetry*. Vol. 13, Iss. 5 (2021), Art. no. 798 [44] s. ISSN 2073-8994 (2020: 2.713 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.385 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85105859108 ; WOS: 000654622100001 ; CC: 000654622100001 ; DOI: 10.3390/sym13050798.

ADC08 HUBA, Mikuláš - BISTÁK, Pavol - VRANČIČ, Damir - ŽÁKOVÁ, Katarína. Dead-time compensation for the first-order dead-time processes: Towards a broader overview. In *Mathematics [elektronický zdroj]*. Vol. 9, iss. 13 (2021), Art. no. 1519 [33] s. ISSN 2227-7390 (2020: 2.258 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.495 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/math9131519 ; WOS: 000671050500001 ; CC: 000671050500001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85109868386.

ADC09 HUBA, Mikuláš - CHAMRAZ, Štefan - BISTÁK, Pavol - VRANČIČ, Damir. Making the PI and PID controller tuning inspired by ziegler and nichols precise and reliable. In *Sensors*. Vol. 21, Iss. 18 (2021), Art. no. 6157 [26] s. ISSN 1424-8220 (2020: 3.576 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.636 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85114843838 ; WOS: 000699936400001 ; CC: 000699936400001 ; DOI: 10.3390/s21186157.

ADC10 KOS, Tomáš - HUBA, Mikuláš - VRANČIČ, Damir. Parametric and nonparametric PID controller tuning method for integrating processes based on magnitude optimum. In *Applied Sciences [elektronický zdroj]*. Vol. 10, iss. 17 (2020), Art. no. 6012 [49] s. ISSN 2076-3417 (2020: 2.679 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.435 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000569724600001 ; SCOPUS ; DOI: 10.3390/app10176012.

ADC11 VRANČIČ, Damir - HUBA, Mikuláš. High-order filtered pid controller tuning based on magnitude optimum. In *Mathematics [elektronický zdroj]*. Vol. 9, Iss. 12 (2021), art.no.1340 [24] s. ISSN 2227-7390 (2020: 2.258 - IF, Q1 - JCR Best Q, 0.495 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/math9121340 ; WOS: 000666966500001 ; CC: 000666966500001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85108851650.

ADC12 ROSINOVÁ, Danica - HYPIUSOVÁ, Mária. Comparison of nonlinear and linear controllers for magnetic levitation system. In *Applied Sciences*. Vol. 11, iss. 17 (2021), Art. no. 7795 [22] s. ISSN 2076-3417 (2020: 2.679 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.435 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/app11177795 ; WOS: 000694161200001 ; CC: 000694161200001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85113860682.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Vybudované zariadenia sa uplatnia pri navrhovaní, overovaní a demonštrovaní zásad riadenia synchronizovaných kolón vozidiel, označovaných ako platoon, ktoré umožňujú zásadným spôsobom zvyšovať priepustnosť cestných komunikácií, najmä diaľnic. Teoretické práce na danú tému ukázali potreby zásadných úprav najznámejších prístupov k návrhu automatického riadenia jednoduchých systémov s oneskoreniami, obmedzeniami, neurčitostami a šumom merania, ktoré umožnia zvýšenie kvality a spoľahlivosti automatizovaného digitálneho návrhu.

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

Cieľom projektu bolo postaviť hybridný modulátor kolón vozidiel (platoon), doplniť ho o vizualizáciu procesov a modul rozšírenej reality, modul vzdialeného prístupu a control toolbox na podporu používateľov, navrhnuť optimálne riadenie platoonu na báze RC vozidiel a pomocou vytvorenej hardvérovej základne experimentovať s využitím vhodných algoritmov riadenia. Získané výsledky potom zhrnúť do časopiseckých publikácií a monografie a využívať ich na vzdelávanie a tréning. Projekt, ktorý do vypuknutia pandémie prebiehal podľa plánovaného harmonogramu a s pomocou daru od firmy Siemens dokonca prekročoval plánovaný rozsah, bol v dôsledku uzatvorenia laboratórií na dlhý čas prerušený a obmedzil sa len na dokončenie základných hardvérových prác, bez ich následnej integrácie, optimalizácie a diseminácie. V dôsledku vynúteného prerušenia sa ťažiskovo zamerlal na analýzu a overovanie algoritmov riadenia, ktoré sa pôvodne plánovalo na obdobie po dokončení hardvérovej základne. Z tejto fázy vyplynula potreba zásadných modifikácií základných metód navrhovania jednoduchých regulátorov, čo bolo demonštrované početnými článkami v karentovaných časopisoch a ďalšími publikáciami v recenzovaných časopisoch a zborníkoch konferencií. Viaceré z nich vyvolali pozornosť širšej komunity z oblasti automatického riadenia, čo možno dokladovať citáciami vytvorených článkov, resp. interakciami v systéme Researchgate. V náväznosti na projekt bolo podaných viacero prihlášok patentov a úžitkových vzorov a riešených viacero diplomových a bakalárskych prác.

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

The aim of the project was to build a hybrid simulator of vehicle platoons, supplement it with process visualization and augmented reality module, remote access module and control toolbox to support users, design optimal platoon control based on RC vehicles and experiment with the use of appropriate control algorithms. The obtained results should then be reported in journal publications and monograph and used for education and training. The project, which went according to plan until the outbreak of the pandemic and even exceeded the planned scope with a donation from Siemens, was interrupted for a long time due to the closure of laboratories and limited to the completion of basic hardware work, without their subsequent integration, optimization and dissemination. As a result of the forced interruption, the focus was on the analysis and verification of control algorithms, which were originally planned for the period after the completion of the hardware base. From this phase arose the need for fundamental modifications of the basic control design methods for simple systems, which was demonstrated by numerous articles in current contents journals and other publications in peer-reviewed journals and conference proceedings. Several of them attracted the attention of the wider community in the field of automatic control, which can be evidenced by citations of articles created, respectively interactions in the Researchgate system. Following the project, several applications for patents and utility models were filed and several diploma and bachelor's theses were resolved.