

RAPORTARE ȘTIINȚIFICĂ

A. Sinteza generală asupra proiectului

Echipa de cercetare și rolurile membrilor care au desfășurat activități de cercetare în cadrul Etapei 1 a proiectului intitulat "Regulatoare de tip data-driven dedicate sistemelor de aliaje cu memoria forme", acronim: DDcSMAst, contract de finanțare nr. PD 41 / 2020, cod depunere PN-III-P1-1.1-PD-2019-0637, <http://www.aut.upt.ro/~raul.roman/PD2019.html>, compusă din: As. Dr. Ing. Raul-Cristian ROMAN având calitate de director de proiect și Prof. Dr. Ing. Stefan PREITL având calitate de mentor.

Etapa 1 - Analiza, proiectarea și implementarea unor soluții de reglare cu regulatoare neliniare: regulatoarele de tip data-driven (VRFT, MFC, MFAC, ADRC și SMC) în combinație cu alți algoritmi de reglare moderni (tehnicile de reglare fuzzy, regulator liniar pătratic, reglare în regim alunecător, rețele neuronale artificiale, lazy learning sau iterative learning control) în vederea îmbunătățirii performanțelor sistemului de reglare automată (SRA). Validarea noilor SRA cu regulatoare neliniare propuse prin intermediul experimentelor efectuate pe echipamente de laborator în legătură cu aliajele cu memoria forme (engl. shape memory alloy – SMA) și alte echipamente de laborator cu elemente de execuție bazate pe SMA. Această primă etapă s-a desfășurat pe parcursul lunilor august-decembrie 2020. Etapa a fost îndeplinită cu succes, iar aceasta a presupus parcurgerea următoarelor activități:

- *Analiza cercetării teoretice actuale și studierea aplicațiilor experimentale ale regulatoarelor neliniare propuse bazate pe regulatoarele de tip data-driven.* Această activitate a presupus analiza cercetărilor teoretice actuale privind soluțiile de reglare existente pentru conducerea proceselor ce conțin aliaje cu memoria forme. Detaliile sunt prezentate în cadrul secțiunii B.
- *Cercetarea posibilităților de îmbunătățire a soluțiilor moderne de reglare și proiectarea de noi regulatoare neliniare bazate pe regulatoarele de tip data-driven.* Această activitate a presupus studiul și îmbunătățirea soluțiilor de reglare automată cu regulatoare de tip data-driven existente. Detaliile sunt prezentate în cadrul secțiunii B.
- *Valorificarea rezultatelor prin participarea cu lucrare la o conferință internațională de specialitate cu vizibilitate ridicată, indexate în Clarivate Analytics Web of Science precum: American Control Conference (ACC 2021), 29th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED 2021) sau European Control Conference (ECC 2021).* Această activitate a presupus pregătirea și transmiterea unor lucrări de revistă și în cadrul conferințelor internaționale de specialitate cu vizibilitate ridicată ce vor fi indexate în Clarivate Analytics Web of Science. În momentul de față lucrările transmise se află în faza de recenzie.
- *Realizarea unei analize SWOT a calității muncii împreună cu mentorul. Rezolvarea punctelor slabe și a amenințărilor identificate. Pregătirea rapoartelor pentru documentarea activităților.* Această activitate a presupus pregătirea unei analize SWOT pentru identificarea și eliminarea punctelor slabe și a amenințărilor.

Pentru anul **2020** raportul științific intermediar și cele trei lucrări din secțiunea D reprezintă livrabilele proiectului.

Remarci:

- Studiul bibliografic menționat în secțiunea B este detaliat în secțiunea C, iar rezultatele obținute pe parcursul anului 2020 sunt detaliate în secțiunea D.
- Lucrările științifice publicate conțin atât rezultate de simulare cât și experiment, validările au fost realizate pe echipamente de laborator cu elemente de execuție bazate pe aliajele cu memoria forme (engl. shape memory alloy – SMA); acestea sunt detaliate în cadrul secțiunii D.
- Rezultatele obținute apar în pagina web a proiectului: <http://www.aut.upt.ro/~raul.roman/PD2019.html>.

B. Dezvoltarea cadrului teoretic ce permite dezvoltarea și implementarea soluțiilor de reglare cu regulatoare de tip data-driven

Aliajele cu memoria forme (engl. shape memory alloy – SMA) [1]-[5] sunt cunoscute ca fiind materiale metalice, numite și "materiale inteligente", avantajul principal a acestor materiale este că sunt silențioase, iar ele acționează prin contracție asemănător mușchilor umani [6], ceea ce le face utile precum elemente de execuție din componența sistemelor de reglare automată (SRA). Standurile de tip SMA sunt proiectate atât în scop didactic pentru a demonstra comportamentul SMA și pentru a

învăța despre elementele de execuție bazate pe SMA, cât și în scop științific pentru a evidenția comportamentul neliniar al SMA, pentru a determina modelul matematic aferent și a proiecta regulatoare pentru reglarea poziției.

Dezavantajele SMA sunt eficiența energetică scăzută, lățimea de bandă redusă datorită vitezei de răcire lentă a aerului și dificultatea de garantare a erorii de reglare staționare nule. O alternativă față de regulatoarele clasice este reprezentată de regulatoarele de tip data-driven (RgDD) [7]-[18], care în prezent reprezintă un subiect de interes atât în mediul științific cât și în industrie. Avantajul RgDD este acela că ele folosesc doar datele de intrare/ieșire ale procesului condus (PC), iar această caracteristică este utilă atunci când modelul matematic al PC este complex sau identificarea sa este foarte dificilă. Acesta este motivul principal al interesului ridicat pentru regulatoarele neliniare ai căror parametri sunt obținuți utilizând datele de intrare/ieșire al PC [7]-[18]. Alte tehnici de reglare folosite pentru conducerea proceselor bazate pe SMA sunt regulatoarele bazate pe logica fuzzy [19]-[21].

Caracterul de noutate și/sau inovativ al rezultatului este dat de îndeplinirea următoarelor activități:

- Cercetarea posibilităților de îmbunătățire a soluțiilor moderne de reglare și proiectarea de noi regulatoare neliniare bazate pe regulatoarele de tip data-driven [13]-[15]. În acest sens au fost propuse regulatoarele publicate în lucrările din secțiunea D.
- Dezvoltarea unor regulatoare neliniare de tip data-driven.
- Propunerea unui nou mecanism pentru garantarea stabilității SRA cu regulatoare neliniare de tip data-driven utilizând metode diferite de stabilitate.
- Implementarea, testarea, verificarea și validarea regulatoarelor neliniare bazate pe data-driven prin simulări și rezultate experimentale pe echipamente de laborator în legătură cu SMA [13]-[15]. În acest sens au fost propuse regulatoarele publicate în lucrările din secțiunea D.

Implementarea și testarea regulatoarelor de tip data-driven propuse folosind modele matematice care simulează comportamentul proceselor disponibile pentru partenerii noștri din industrie.

Acest proiect pornește din condiții inițiale nenule datorită faptului că în ultimele cinci luni au fost publicate trei lucrări științifice (menționate în secțiunea D) din care una de revistă indexată în *Clarivate Analytics Web of Science* și alte două lucrări publicate în cadrul a două conferințe internaționale de specialitate cu vizibilitate ridicată.

Proiectul propune o abordare orientată pentru a dezvolta și a îmbunătăți soluțiile moderne de reglare bazate pe RgDD dedicate proceselor de tip SMA. Noile SRA cu RgDD vor fi de asemenea validate și testate pe alte tipuri de echipamente de laborator. Noile SRA cu RgDD vor fi validate și prin intermediul partenerilor din mediul industrial (Continental Automotive Timișoara, Airbus Helicopters Romania prin relații directe consolidate în timp, Ontario Centres of Excellence prin intermediul partenerul nostru din Ottawa, Canada).

C. Bibliografie

- [1] I.-C. Mituletu, G. R. Gillich, N. M.M. Maia, A method for an accurate estimation of natural frequencies using swept-sine acoustic excitation, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 116, 693-709, 2019.
- [2] K. Suhel, Yeswanth Sai, S.S. Mani Prabu, I.A. Palani, C.U. Amod, Pushpendra Singh, Active control of smart shape memory alloy composite flapper for aerodynamic applications, *Proc. Int. Conf. on Robotics and Smart Manuf.*, 134-140, 2018.
- [3] Y. Kim, T. Jang, H. Gurung, N.A. Mansour, B. Ryu, B. Shin, Bidirectional rotating actuators using shape memory alloy wires, *Sens. and Actuat. A: Physical*, 295, 512-522, 2019.
- [4] E.J. Abdullah, P.S. Gaikwad, N. Azid, D.L. Abdul Majid, A.S. Mohd Rafie, Temperature and strain feedback control for shape memory alloy actuated composite plate, *Sens. and Actuat. A: Physical*, 238, 134-140, 2018.
- [5] S. Quintanar-Guzmán, S. Kannan, H. Voos, M. Darouach, M. Alma, Adaptive control for a Lightweight Robotic Arm Actuated by a Shape Memory Alloy Wire, *Proc. 16th Internat. Conf. on New Actuat.*, Bremen, Germany, 388-393, 2018.
- [6] H. Yang, M. Xu, W. Li, S. Zhang, Design and Implementation of a Soft Robotic Arm Driven by SMA Coils, *IEEE Trans. on Ind. Electr.*, 66 (8), 6108-6116, 2019.
- [7] J.M.O. Barth, J.-P. Condomines, J.-M. Moschetta, A. Cabarbaye, C. Join, M. Fliess, Full Model-Free Control Architecture for hybrid UAVs, *Proc. 2019 Americ. Contr. Conf.*, 71-78, 2019.

- [8] C. Join, J. Bernier, S. Mottelet, M. Fliess, S. Rechdaoui-Guerin, S. Azimi, V. Rocher, A simple and efficient feedback control strategy for wastewater denitrification, Proc. 20th IFAC World Congress, Marseille, France, 1-6, 2017.
- [9] X. Bu, Z.S. Hou, H. Zhang, Data-driven multiagent systems consensus tracking using model free adaptive control, IEEE Trans. Neural. Netw. Learn. Syst., 29 (5), 1514-1524, 2017.
- [10] J. Hou, S. Xiong, On model free adaptive control and its stability analysis, IEEE Trans. Automa. Control, doi 10.1109/TAC.2019.2894586, 1-14, 2019.
- [11] S. Formentin, M.C. Campi, A. Care, S. Savaresi, Deterministic continuous-time virtual reference feedback tuning (VRFT) with application to PID design, Syst. & Learn. Lett., 127, 25-34, 2019.
- [12] R.-C. Roman, M.-B. Radac, C. Tureac, R.-E. Precup, Data-driven active disturbance rejection control of pendulum cart systems, Proc. 2018 IEEE Conf. on Control Technology and Appl., Copenhagen, Denmark, 933-938, 2018.
- [13] R.-C. Roman, R.-E. Precup, E. M. Petriu, C.-A. Bojan-Dragos, V.-B. Vanya and M.-D. Rarinca, "Second Order Active Disturbance Rejection Control – Virtual Reference Feedback Tuning for Twin Rotor Aerodynamic Systems," 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2020), Toronto, Canada, pp. 1-6, 2020.
- [14] R.-C. Roman, R.-E. Precup, E. M. Petriu, R.-C. David, E.-L. Hedrea and A.-I. Szedlak-Stinean, "First-Order Active Disturbance Rejection-Virtual Reference Feedback Tuning Control of Tower Crane Systems," 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC 2020), Sinaia, Romania, pp. 1-6, 2020.
- [15] R.-C. Roman, R.-E. Precup and E. M. Petriu, "Hybrid Data-Driven Fuzzy Active Disturbance Rejection Control for Tower Crane Systems," European Journal of Control, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2020.08.001>, 2020, <https://www.sciencedirect.com>.
- [16] R. Madonski, S. Shao, H. Zhang, Z. Gao, J. Yang, S. Li, General error-based active disturbance rejection control for swift industrial implementations, Control Eng. Pract., vol. 84, 218-229, 2019.
- [17] S. Satoh, K. Fujimoto, Iterative feedback tuning for Hamiltonian systems based on variational symmetry, Int. Jour. Robust and Nonl. Control, doi: <https://doi.org/10.1002/rnc.4692>, 1-21, 2019.
- [18] Y. Zhang, L. Sum, J. Shen, K.Y. Lee, Q.-C. Zhong, Iterative tuning of modified uncertainty and disturbance estimator for time-delay processes: a data-driven approach, ISA Trans., 84, 164-177, 2019.
- [19] Y.M. Alsayed, A.A. Abouelsoud, M.R. Ahmed, F.E. Bab, Fuzzy logic-based PI controller design and implementation of shape memory alloy actuator, Int. Journ. of Aut. Control, 12 (3), 427-448, 2018.
- [20] J.M. Borges, A.A. Silva, C.J. De Araujo, R.L. Pimentel, A.S. de Aquino, R. Senko, R.P.B. dos Reis, On the active control of a rotor-bearing system using shape memory alloy actuators: an experimental analysis, Journ. of the Braz. Soc. of Mechan. Sci. and Eng., 40 (5), 269-282, 2018.
- [21] A.H. Patriota Campos, E. de M Fernandes, J.J. da Silva, J.S. da R. Neto, Autotuned Fuzzy Based PID Deformation Control Of a Shape Memory Alloy Actuated Cantilever Beam, Proc. 13th IEEE Int. Conf. on Ind. Appl., 1187-1193, 2018.

D. Lucrări în curs de publicare

- **Lucrări de revistă:**

R.-E. Precup, **R.-C. Roman**, E.-L. Hedrea, E. M. Petriu, and C.-A. Bojan-Dragos, "Data-Driven Model-Free Sliding Mode and Fuzzy Control with Experimental Validation," International Journal of Computers Communications & Control, vol, 18, no. 1, pp. 1-18, 2020.

- **Lucrări de conferință publicate:**

R.-C. Roman, R.-E. Precup, E. M. Petriu, C.-A. Bojan-Dragos, V.-B. Vanya and M.-D. Rarinca, "Second Order Active Disturbance Rejection Control – Virtual Reference Feedback Tuning for Twin Rotor Aerodynamic Systems," 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2020), Toronto, Canada, pp. 1-6, 2020.

R.-C. Roman, R.-E. Precup, E. M. Petriu, R.-C. David, E.-L. Hedrea and A.-I. Szedlak-Stinean, "First-Order Active Disturbance Rejection-Virtual Reference Feedback Tuning Control of Tower Crane Systems," 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC 2020), Sinaia, Romania, pp. 1-6, 2020.

Director Proiect,
ROMAN Raul-Cristian

