

RAPORTARE ȘTIINȚIFICĂ

A. Sinteză generală asupra Etapei 1

Echipa de cercetare și rolurile membrilor care au desfășurat activități de cercetare în Etapa 1 a proiectului “Regulatoare fuzzy dedicate sistemelor de aliaje cu memoria formei”, contract de finanțare nr. TE 65 / 2020, codul de depunere PN-III-P1-1.1-TE-2019-1117, <http://www.aut.upt.ro/~claudia.dragos/TE2019.html>, este formată din: Ș.l.dr.ing. Claudia-Adrina BOJAN-DRAGOȘ – Director de proiect, Prof.dr.ing. Stefan PREITL – Membru, As.dr.ing. Raul-Cristian ROMAN – Membru și As.drd.ing. Elena-Lorena HEDREA - Membru.

Etapa 1 din cadrul proiectului – *Analiza cercetărilor teoretice actuale privind îmbunătățirea soluțiilor de reglare existente și proiectarea de noi regulatoare pentru a îmbunătăți performanțele sistemelor de reglare automată pentru procesele în legătură cu aliaje cu memoria formei (engl. shape memory alloy – SMA)* – desfășurată pe parcursul lunilor septembrie-decembrie din anul 2020 a fost îndeplinită și este grupată sub forma următoarelor activități:

Act 1.1 - *Analiza cercetărilor teoretice actuale și studierea aplicațiilor experimentale pe echipamente de laborator în legătură cu SMA și pe alte echipamente de laborator cu elemente de execuție bazate pe SMA.* Pentru îndeplinirea acestei activități s-a avut în vedere analiza cercetărilor teoretice actuale privind soluțiile de reglare existente pentru conducerea proceselor ce conțin aliaje cu memoria formei. Sunt prezentate detalii în studiul din secțiunea B.

Act 1.2 - *Cercetarea posibilităților de îmbunătățire a soluțiilor de reglare existente și proiectarea de noi regulatoare fuzzy adaptive.* Pentru îndeplinirea acestei activități s-au studiat soluțiile de reglare automată cu regulatoare fuzzy existente și posibilitatea de proiectare a unor soluții de reglare automată cu regulatoare fuzzy adaptive. Sunt prezentate detalii tot în studiul din secțiunea B.

Principalele rezultate obținute în Etapa 1 a proiectului:

- **1 lucrare științifică** acceptată pentru a fi publicată în revista de specialitate International Journal of Computers Communications & Control,
- **1 raport științific.**

Remarci:

- Studiul bibliografic aferent secțiunii B este prezentat în secțiunea C, iar rezultatele obținute pe parcursul anului 2020 sunt prezentate în secțiunea D.
- De precizat este faptul că în lucrările științifice publicate, pe lângă rezultatele de simulare sunt incluse și rezultate experimentale, rezultate evidențiate cu ajutorul echipamentelor de laborator: sistem de tip macara turn, sistem de tip macara 3D și sistem de tip pendul invers. Detaliile sunt prezentate în cadrul tehnicilor din secțiunea B.
- Rezultatele obținute sunt menționate și în pagina web a proiectului, <http://www.aut.upt.ro/~claudia.dragos/TE2019.html>, unde vor fi incluse toate informațiile legate de desfășurarea proiectului.

B. Dezvoltarea cadrului teoretic ce permite dezvoltarea și implementarea soluțiilor de reglare fuzzy adaptive

Aliajele cu memoria formei (engl. shape memory alloy – SMA) sunt materiale metalice, numite și „materiale inteligente”, având o funcționare silențioasă și acționează prin contracție ca și mușchii umani, ceea ce le face utile ca elemente de execuție în sistemele de reglare automată (SRA) [1]-[6]. SMA au fost concepute atât în scop didactic pentru a demonstra comportamentul SMA, cât și în scop științific pentru a determina modelul matematic aferent și a proiecta regulatoare pentru controlul poziției și urmărirea referinței [1], [7].

SMA prezintă și unele dezavantaje, cum ar fi eficiența energetică scăzută, lățimea de bandă redusă datorită vitezei de răcire lentă a aerului și dificultății de a obține eroare de reglare staționară nulă. Din acest motiv, regulatoarele liniare convenționale nu pot asigura performanța de reglare dorită, astfel o alternativă viabilă la tehnicile de reglare clasice aplicate actuatorilor SMA este reprezentată de *logica fuzzy* (Tanaka and Sugeno, Proc. SMC 1985), [8]-[14].

Datorită necesității de a compensa efectele neliniarităților procesului și pentru a îmbunătăți performanțele SRA pentru procesele cu elemente de execuție bazate pe SMA este necesar să fie dezvoltate regulatoare performante, robuste, și o variantă viabilă a acestora este reprezentată de *regulatoarele fuzzy adaptive* [15]-[18]. Soluțiile de reglare fuzzy adaptive combină reglarea fuzzy cu reglarea adaptivă, reglarea gain-scheduling și reglarea în mod alunecător, beneficiind de avantajele specifice fiecărei tehnici [19]-[24].

Au fost identificate următoarele **dificultăți care pot afecta abordarea propusă**:

- realizarea analizei de stabilitate pentru unele dintre abordările propuse poate fi dificilă, indiferent de tehnicile folosite;
- mediile în care apar mai multe restricții (de exemplu restricții de tip inegalitate pe eroarea de reglare, restricții de tip inegalitate pe comandă și/sau derivata comenzii);
- este de așteptat ca abordările propuse să funcționeze și pentru procese ușor neliniare care pot fi approximate prin sisteme liniare în vecinătatea unor puncte de funcționare.

Impactul potențial asupra domeniului științific poate fi semnificativ, deoarece, noile structuri de reglare fuzzy adaptive propuse au următoarele avantaje: sunt utile în cazul sistemelor cu neliniarități, sunt executabile în câteva minute, pot fi rulate pentru a obține rezultate acceptabile fără a fi nevoie de multe experimente, pot compensa lipsa de experiență a proiectantului și analiza de stabilitate a sistemului poate fi garantată folosind tehnicile de analiză a stabilității în sens Lyapunov și Popov [25]–[31].

Impactul potențial al proiectului în mediul științific, social, economic sau cultural este evident deoarece noile soluții de reglare fuzzy adaptive pot conduce la elaborarea unor instrumente automate utile în procesul de proiectare și acordare a reguletoarelor din cadrul structurilor sistemelor de reglare automată, cu aplicabilitate pe echipamente de laborator: procesele cu elemente de execuție bazate pe SMA, pe echipamentele de laborator în legătură cu SMA, sistemul cu levitație magnetică [32], [33], sistemul aerodinamic cu două rotoare, sistemul de tip macara 3D, sistemul de tip macara turn [34]–[36], sistemul antiblocaj al roților, sistem de tip pendul invers.

Noile SRA cu reguletoare fuzzy adaptive vor fi, de asemenea, validate și testate prin intermediul partenerilor din mediul privat (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, V. I. Bizau, C. P. Chioncel, G. R. Gillich, The design of a test stand for the shape memory alloys control at high current and low voltage, Proc. XIth Int. Symp. on Advanced Topics in Elec. Eng., 1–6, 2019.
- [2] Y. Kuang, F. Miao, X. Liu, J. Xie, Experimental research and analysis of heating SMA wire, Proc. Int. Conf. on Ind. Techn. and Manag. Sci., 1162–1165, 2015.
- [3] H.-J. Kim, S.-H. Song, S.-H. Ahn, A turtle-like swimming robot using a Smart Soft Composite (SSC) structure, Smart Mater. Struct., 22, 140071–1400711, 2013.
- [4] D. C. Lagoudas, Shape memory alloys: modelling and engineering applications, Springer, 2008.
- [5] J. Mohd Jani, M. Leary, A. Subic, M. A. Gibson, A review of shape memory alloy research, applications and opportunities, Mater. Des., 56, 1078–1113, 2014.
- [6] M. Senthilkumar, Analysis of SMA actuated plain flap wing, Journ. of Engineer. Sci. and Technol. Review vol. 5(1), 39–43, 2012.
- [7] 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.
- [8] Guerra, T.M.; Sala, A.; Tanaka, K. (2015). Fuzzy control turns 50: 10 years later, *Fuzzy Sets and Systems*, 281, 168–182, 2015.
- [9] 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. J. Automat. Control, 12 (3), 427–448, 2018.
- [10] 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 Industry Applications, 1187–1193, 2018.
- [11] J. González, S. Gomáriz, C. Batlle, C. Galarza, Fuzzy controller for the yaw and velocity control of the Guanay II AUV, IFAC-PapersOnLine, 48(2), 268–273, 2015.
- [12] Nguyen, A.-T.; Taniguchi, T.; Eciolaza, L.; Campos, V.; Palhares, R.; Sugeno, M. (2019). Fuzzy control systems: past, present and future, *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 14(1), 56–68, 2019.
- [13] Shamloo, N.F.; Kalat, A.A.; Chisci, L. (2020). Indirect adaptive fuzzy control of nonlinear descriptor systems, *European Journal of Control*, 51, 30–38, 2020.
- [14] H. Matsumori, M.-C. Deng, Y. Noge, An operator-based nonlinear vibration control system using a flexible arm with shape memory alloy, Int. J. Autom. Comput., 1–12, 2018.
- [15] B. Zhang, X.-G. Zhao, X.-G. Li, D.-H. Zhang, Robust indirect adaptive control for a class of nonlinear systems and its application to shape memory alloy actuators, IEEE Access, 6, 35809–35823, 2018.
- [16] 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.

- [17]P. Senthilkumar, M. Umamathy, and K. Dhanalakshmi, Modulated adaptive fuzzy controller for position control of SMA wire actuator, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 27(1), 9–18, 2014.
- [18]C.-A. Dragoş, S. Preitl, R.-E. Precup, E. M. Petriu, A.-I. Stinean, Adaptive control solutions for the position control of electromagnetic actuated clutch systems, *Proc. 2012 IEEE Intell. Vehicles Symp.*, Alcalá de Henares, Spain, 81–86, 2012.
- [19]Y. Yang, Y. Yan, Attitude Regulation for unmanned quadrotors using adaptive fuzzy gain-scheduling sliding mode control, *Aerosp. Sci. and Technology*, 54, 208–217, 2016.
- [20]Y. Xie, H. Shi, A. Alleyne, B. Yang, Feedback Shape Control for Deployable Mesh Reflectors using Gain Scheduling Method, *Acta Astronautica*, 121, 241–255, 2016.
- [21]X. Li, D. Zhang, B. Zhang, X. Zhao, Sliding mode control of a SMA actuator based on unscented Kalman filter, *Proc. 2018 IEEE Int. Conf. on Robot. and Biom.*, Kuala Lumpur, Malaysia, 1431–1436, 2018.
- [22]Li, S.; Ahn, C.K.; Xiang, Z.-R. (2019). Adaptive fuzzy control of switched nonlinear time-varying delay systems with prescribed performance and unmodeled dynamics, *Fuzzy Sets and Systems*, 371, 40–60, 2019.
- [23]Yu, W.; Wang, R.; Bu, X.-H.; Hou, Z.-S. (2020). Model free adaptive control for a class of nonlinear systems with fading measurements, *Journal of The Franklin Institute*, 357(12), 7743–7760, 2020.
- [24]Precup, R.-E.; David, R.-C.; Petriu, E.M.; Szedlak-Stinean, A.-I.; Bojan-Dragoş, C.-A. (2016). Grey wolf optimizer-based approach to the tuning of PI-fuzzy controllers with a reduced process parametric sensitivity, *IFAC-PapersOnLine*, 49(5), 55–60, 2016.
- [25]R. Raja, B. M. Mohan, Stability Analysis of General Takagi-Sugeno Fuzzy Two-Term Controllers, *Fuzzy Inf. Eng. J.*, 10(2), 196–212, 2018.
- [26]V. M. Popov, *Hyperstability of Control Systems*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1973.
- [27]R.-E. Precup, S. Preitl, Popov-type stability analysis method for fuzzy control systems with PI fuzzy controllers, *Revue Roumaine de Sciences Techniques, Electrotechnique et Energetique Series*, 48(4), 505–522, 2003.
- [28]R.-E. Precup, M.-L. Tomescu, C.-A. Dragoş, Stabilization of Rössler chaotic dynamical system using fuzzy logic control algorithm, *Int. J. Gen. Syst.*, 43(5), 413–433, 2014.
- [29]Zs. Lendek, Z. Nagy, J. Lauber, Local stabilization of discrete-time TS descriptor systems, *Eng. Appl. Artif. Intell. J.*, 67, 409–418, 2018.
- [30]Precup, R.-E.; Preitl, S.; Petriu, E.M.; Roman, R.-C.; Bojan-Dragoş, C.-A.; Hedrea, E.-L.; Szedlak-Stinean, A.-I. (2020). A center manifold theory-based approach to the stability analysis of state feedback Takagi-Sugeno-Kang fuzzy control systems, *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(2), 189–204, 2020.
- [31]Precup, R.-E.; Preitl, S. (2006). Stability and sensitivity analysis of fuzzy control systems. *Mechatronics applications, Acta Polytechnica Hungarica*, 3(1), 61–76, 2006
- [32]E.-L. Hedrea, C.-A. Bojan-Dragoş, R.-E. Precup, R.-C. Roman, E. M. Petriu, and C. Hedrea, *Tensor product based model transformation for position control of magnetic levitation systems*, in *Proc. 26th Int. Symp. Ind. Electron.*, Edinburgh, UK, 2017, 1141–1146.
- [33]E.-L. Hedrea, R.-E. Precup, C.-A. Bojan-Dragoş, *Results on tensor product-based model transformation of magnetic levitation systems*, *Acta Polyt. Hung.*, 16(2019), 93–111.
- [34]Roman, R.-C.; Precup, R.-E.; Bojan-Dragoş, C.-A.; Szedlak-Stinean, A.-I. (2019). Combined model-free adaptive control with fuzzy component by virtual reference feedback tuning for tower crane systems, *Procedia Computer Science*, 162, 267–274, 2019.
- [35]H.M. Omar, and A.H. Nayfeh, *Gain scheduling feedback control of tower cranes with friction compensation*, *J. Vibr. Control*, 10(2004), 269–289.
- [36]T.-S. Wu, M. Karkoub, W.-S. Yu, C.-T. Chen, M.-G. Her, and K.-W. Wu, *Anti-sway tracking control of tower cranes with delayed uncertainty using arobust adaptive fuzzy control*, *Fuzzy Sets Syst.*, 290(2016), 118–137.

D. Lucrare în curs de publicare

- în revistă de specialitate: R.-E. Precup, R.-C. Roman, E.-L. Hedrea, E. M. Petriu, C.-A. Bojan-Dragoş, „Data-Driven Model-Free Sliding Mode and Fuzzy Control with Experimental Validation”, 2020, 18 pp.

Director Proiect,
BOJAN-DRAGOŞ Claudia-Adina

