## Raport științific

privind implementarea proiectului în perioada ian-aprilie 2020

# Contract TE 65/2018

Robust fractional order event-based control for optimized resource allocation in complex cyber-physical closed loop systems

**Rezumat:** În cadrul Etapei 3 de implementare a grantului de cercetare TE 65/2018 s-au realizat activităti de comparare a algoritmilor dezvoltati cu algoritmi de reglare existenti, pentru a demonstra avantajele metodei propuse. Într-o primă activitate, s-au comparat rezultatele în buclă închisă obținute în cazul regulatoarelor PID de ordin fracționar (FO-PID) bazate pe evenimente cu cele obținute în cazul regulatoarelor clasice PID bazate pe evenimente, cu analizarea avantajelor algoritmului dezvoltat în proiect în ceea ce privește robustețea și performanța în buclă închisă. Sau testat diverse tipuri de sisteme cu timp mort, în acest raport fiind incluse rezultatele în buclă închisă pentru două sisteme de ordin întâi cu timp mort (rezultate simulate) și un sistem de ordin superior cu timp mort (rezultate experimentale). În cea de a doua parte a acestui raport, se prezintă compararea rezultatelor în buclă închisă obtinute în cazul FO-PID bazat pe evenimente cu cele obtinute în cazul regulatoarelor FO PID standard, cu analizarea avantajelor algoritmului dezvoltat în proiect în ceea ce privește o alocare mai eficientă a resurselor. S-au testat și în acest caz diverse tipuri de sisteme, rezultatele prezentate în acest raport fiind pentru cele două sisteme de ordin întâi cu timp mort si un sistem de ordin superior cu timp mort (aceleasi din activitatea anterioară). Teste comparative se regăsesc și în lucrările publicate sau în evaluare, menționate la finalul acestui raport.

<u>Activitatea 3.1. Compararea rezultatelor în buclă închisă obținute în cazul FO-PID bazat pe</u> <u>evenimente cu cele obținute în cazul regulatoarelor PID bazat pe evenimente, cu analizarea</u> <u>avantajelor algoritmului dezvoltat în proiect în ceea ce privește robustețea și performanța în</u> <u>buclă închisă</u>

#### 3.1.1. Rezultatele obținute pentru un sistem de ordin întâi ( $T >> \tau$ )

Se consideră un sistem de ordin întâi cu timp mort dat de:

$$H_{p}(s) = \frac{1}{4s+1}e^{-s}$$
(1)

Pentru acest sistem a fost proiectat un regulator de ordin fracționar, cu performanțele impuse PM =85° (margine de fază) și o frecvență de tăiere  $\omega_c$ =0.3 rad/s, utilizând metoda dezvoltata în proiect și bazată pe metodologia FO-IMC și NRTF, având funcția de transfer data de:

$$H_c(s) = \frac{4s+1}{s} \frac{s}{1.95s^{0.8475} + 1 - e^{-s}}$$
(2)

Implementarea acestui regulator în varianta bazata pe evenimente a fost descrisă în Etapa II. În continuare se prezintă rezultatele obținute în cazul urmăririi referinței, rejectarea perturbațiilor și robustețe. Fig 1. prezintă răspunsul la o referință treaptă unitară. În graficul care ilustrează comanda calculată de filtru se poate vedea că aceasta este calculată la intervale regulate de timp *hnom* = 0.1s, iar graficul comenzii date de regulatorul bazat pe evenimente prezintă perioade de timp inegale între două valori diferite ale comenzii. Rejectarea perturbației este prezentată în Fig. 2. Se poate vedea eroarea staționară nulă și timpul de răspuns de aprox. 7s. De asemenea, graficele de comandă arată eficiența regulatorului PID bazat pe evenimente din punct de vedere al optimizării resurselor necesare pentrul calculul comenzii. Caracterul robust este verificat în testul prezentat în Fig. 3. Pentru o variație de 50% a factorului de amplificare, răspunsul procesului atinge valoarea referinței în 10s.





Fig. 3. Verificarea robusteții la variații ale factorului de amplificare cu regulator FO-PID bazat pe evenimente

Pentru același sistem descris în (1), s-a proiectat un regulator PI care să asigure aceleași mărimi de performanță (margine de fază PM =85° și o frecvență de tăiere  $\omega_c$ =0.3 rad/s). Funcția de transfer a regulatorului se obține ca fiind:

$$C_{PI}(s) = 1.3841 \left( 1 + \frac{1}{6.3715s} \right) \tag{3}$$

Și în acest caz, implementarea regulatorului în varianta bazată pe evenimente a fost descrisă în Etapa II. În continuare, se prezintă simulările realizate. Fig. 4 prezintă răspunsului sistemului în buclă închisă cu regulator PID bazat pe evenimente la o intrare treaptă unitară. Răspunsul ajunge în regim staționar cu un timp de răspuns de 25 secunde. Pe graficul de comandă se pot observa intervalele de timp de lungimi neregulate la care s-a calculat valoarea comenzii. Fig. 5 prezintă capabilitățile de rejectare a perturbației pe ieșire. La momentul t=50s se introduce o perturbație care reprezintă 20% din valoarea semnalului de referință pe ieșirea procesului. Perturbația este anulată la momentul t=70. După cum se poate vedea, în ambele cazuri răspunsul se întoarce la valoarea de referință cu un timp de răspuns de aprox. 5s. Robustețea este testată în Fig. 6, unde același regulator din (3) este implementat pentru un proces cu un factor de amplificare crescut cu 50%. Și în acest caz, regulatorul duce ieșirea procesului la valoarea de referință unitară.

<u>Concluzii</u>. Analizand Fig. 1 și respectiv Fig. 4, se constată un timp de răspuns mult mai redus obținut în cazul regulatoarelor fracționare comparativ cu cele clasice, ambele bazate pe evenimente. Analizând Fig. 2 și respectiv Fig. 5, se constată o eficieță similară a celor două tipuri de regulatoare, perturbațiile fiind rejectate în 7s, respectiv 5s. În ceea ce privește robustețea

algoritmilor, din analiza comparativă a Fig. 3 și respectiv Fig. 6, se constată lipsa suprareglajului în ambele cazuri, și menținerea unui timp de raspuns mult mai redus în cazul regulatorului fracționar. Deasemenea, așa cum se poate constata din Fig. 6, în cazul reglării cu un controller clasic, pentru variații mai mari ale factorului de amplificare, sistemul în buclă închisă va începe să oscileze.





Fig. 6. Verificarea robusteții la variații ale factorului de amplificare cu regulator PID bazat pe evenimente

### 3.1.2. Rezultatele obținute pentru un sistem de ordin întâi (T $\ll \tau$ )

Funcția de transfer a procesului este dată de:

$$H_{p}(s) = \frac{2}{s+1}e^{-2s}$$
(4)

Regulatorul fracționar a fost proiectat pe baza algoritmului de control dezvoltat în Etapa II, performanțele impuse fiind PM= $80^{\circ}$  și  $\omega_c$ =0.3 rad/s. Regulatorul rezultat a fost implementat conform descrierii făcute în raportul aferent Etapei II:

$$H_c(s) = \frac{s+1}{2s} \frac{s}{0.8826s^{0.6165} + 1 - e^{-2s}}$$
(5)

Fig. 7 arată o urmărire a referinței cu un timp de răspuns de 7s, suprareglaj nul și eroare staționară nulă. Răspunsul sistemului în buclă închisă la perturbații este ilustrat în Fig. 8. La momentul t=25 este introdusă perturbația treaptă de amplitudine 0.2. Aceasta este eliminată complet cu un timp de răspuns de aprox. 10s. Eliminarea perturbației este realizată la t=40s, iar răspunsul procesului confirmă timpul de rejectare de 10s. Robustețea la variații ale factorului de amplificare de -50% este demonstrată în Fig. 9. După cum se poate vedea, timpul de răspuns al procesului alterat este de 20s, fată de 7s al procesului nominal. Și pentru aceste tipuri de procese este demonstrată eficacitatea strategiei de control de ordin fracționar bazat pe evenimente.





Fig. 9. Verificarea robusteții la variații ale factorului de amplificare regulator FO-PID bazat pe evenimente

Pentru proiectarea unui regulator PI se utilizează tehnici standard de acordare în domeniul frecvențial, impunându-se aceleași performanțe ca în cazul regulatorului fracționar: margine de fază PM =80° și o frecvență de tăiere  $\omega_c$ =0.3 rad/s. În acest caz, ecuațiile de fază și de modul conduc la soluția: k<sub>p</sub>=0.3430 și T<sub>i</sub>=2.9055, funcția de transfer a regulatorului PI fiind dată de:

$$C_{PI}(s) = 0.3430 \left( 1 + \frac{1}{2.9055s} \right) \tag{6}$$

Implementarea regulatorului din (6) în varianta bazată pe evenimente se face folosind algoritmul prezentat în Etapa II. Regulatorul PI bazat pe evenimente este testat din punct de vederea al erorii staționare în Fig. 10, unde urmărește cu succes referința treaptă unitară cu un timp de răspuns de 15s. Și în acest caz, se poate vedea cum comanda este calculată la intervale neregulate de timp. Rejectarea perurbației este prezentată în Fig. 11. Aceeași perturbație ca în cazul anterior, având valoarea 0.2 este introdusă la momentul t=50s. Regulatorul rejectează perturbația cu un timp de răspuns de aprox. 10 secunde. Robustețea este testă în Fig. 12, unde se poate vedea timpul de răspuns crescut provocat de o schimbare a factorului de amplificare de -50%. Cu toate că timpul de răspuns (aprox. 30s) este crescut față de cazul nominal, regulatorul bazat pe evenimente stabilizează sistemul, demonstrându-și robustețea, deși nu a fost acordat în acest sens.



Fig.12. Verificarea robusteții la variații ale factorului de amplificare cu regulator PID bazat pe evenimente

<u>Concluzii</u>. Analizând Fig. 7 și respectiv Fig. 10, se constată un timp de răspuns mult mai redus obținut în cazul regulatoarelor fracționare (7s) comparativ cu cele clasice (15s), ambele bazate pe evenimente. În ambele cazuri suprareglajul este nul. Analizând Fig. 8 și respectiv Fig. 11, se constată o eficiență similară a celor două tipuri de regulatoare, perturbațiile fiind rejectate în 10s, în ambele cazuri. În ceea ce privește robustețea algoritmilor, din analiza comparativă a Fig. 9 și respectiv Fig. 12, se constată creșterea timpului de răspuns în ambele situații, însa regulatorul fracționar asigură un timp de răspuns de aprox. 20 secunde, în timp ce regulatorul PI stabilizează sistemul în 30 secunde.

## 3.1.3. Rezultatele obținute pentru un sistem de ordin superior cu timp mort. Studiu de caz pe un echipament de tip vertical take off and landing (VTOL)

Procesul este descris de următoarea funcție de transfer:

$$H_{VTOL}(s) = \frac{22.24}{s^2 + 0.6934s + 5.244} e^{-0.8s}$$
(7)

iar pentru determinarea parametrilor regulatorului fracționar s-a utilizat algoritmul dezvoltat în cadrul Etapei II. Mărimile de performanță impuse sunt PM=75° și  $\omega_c$ =0.5 rad/s, rezultând:

$$H_c(s) = \frac{s^2 + 0.6934s + 5.244}{22.24s} \frac{s}{1.156s^{0.9379} + 1 - e^{-0.8s}}$$
(8)

Răspunsul la o treaptă unitară este prezentat în Fig. 13. Se poate vedea o reducerea majoră a suprareglajului, un timp de răspuns de 10s și o eroare staționară nulă față de procesul necompensat. Fig. 14 prezintă simularea sistemului în buclă închisă la o perturbație pe ieșire, aceasta fiind eliminată în 5s. Simulările în buclă închisă prezentate în Fig. 15 arată un caracter robust la variații de 20% ale factorului de amplificare.





Fig. 15. Verificarea robusteții la variații ale factorului de amplificare cu regulator FO-PID bazat pe evenimente

Pentru proiectarea unui regulator PI se utilizează tehnici standard de acordare în domeniul frecvențial, impunându-se aceleași performanțe ca în cazul fractionar: margine de fază PM =75° și o frecvență de tăiere  $\omega_c$ =0.5 rad/s. În acest caz, ecuațiile de fază și de modul conduc la soluția: k<sub>p</sub>=0.0458 și T<sub>i</sub>=0.4178, funcția de transfer a regulatorului PI fiind dată de:

$$C_{PI}(s) = 0.0458 \left( 1 + \frac{1}{0.4178s} \right) \tag{9}$$

Implementarea regulatorului din (9) în varianta bazată pe evenimente se face folosind algoritmul prezentat în Etapa II. Urmărirea referinței este prezentată în Fig. 16. După cum se poate vedea, eroarea staționară este nulă, iar timpul de răspuns este aprox. 15s. De asemenea, suprareglajul este mult redus. Implementarea practică a regulatorului PI bazat pe evenimente este imperativă pentru optimizarea resurselor necesare platformei VTOL, utilizarea CPU poate fi redusă cu 80% față de cazul implementării unui regulator clasic. Perturbația este rejectată cu succes în Fig. 17. O perturbație reprezentând 20% din valoarea treptei unitare dată ca referință este introdusă pe ieșirea sistemului la t=50s. Rejectarea totală a perturbației este realizată cu un timp de răspuns de 20s. La momentul t=90s, perturbația este eliminată de pe ieșirea sistemului, iar ieșirea revine la valoarea de referință tot cu un timp de răspuns de 20s. Robustețea este testată in Fig. 18. Testul surprinde o variație de 20% a factorului de amplificare, de la 22.24 la 26.68. Testul este imperativ pentru procesul fizic deoarece în cazul platformelor de aterizare și decolare verticală (Vertical Take-Off and Landing), greutatea obiectelor transportate variază, motivând necesitatea unui caracter robust al sistemului în buclă închisă. Fig. 18 arată un suprareglaj și un timp de răspuns crescute al



procesului alterat. Cu toate acestea, ieșirea sistemului în buclă închisă ajunge la valoarea de referință cu o eroare staționară nulă.



Fig. 18. Verificarea robusteții la variații ale factorului de amplificare cu regulator PID bazat pe evenimente

**Concluzii**. Analizând Fig. 13 și respectiv Fig. 16, se constată un timp de răspuns mai redus obținut în cazul regulatoarelor fracționare (10s) comparativ cu cele clasice (15s), ambele bazate pe evenimente. În ambele cazuri suprareglajul este redus, însă ușor mai ridicat în cazul regulatorului clasic. Analizând Fig. 14 și respectiv Fig. 17, se constată o eficiență mult mai ridicată a regulatorului fracționar, care va rejecta perturbația în aproximativ 5s, comparativ cu cel clasic care va realiza eliminarea perturbației în 20s. În ceea ce privește robustețea algoritmilor, din analiza comparativă a Fig. 5 și respectiv Fig. 18, se constată performanțele net superioare ale regulatorului fracționar, cu un timp de răspuns înjumătățit comparativ cu regulatorul clasic. Deasemenea, sistemul în buclă închisă este mult mai oscilant în cazul regulatorului clasic PI, comparativ cu cel fracționar.

Ca și concluzie generală, se poate menționa faptul că în cazul sistemelor cu timp mort considerabil (delay dominance), regulatoarele de ordin fracționar bazate pe evenimente sunt mult mai eficiente decât cele clasice, atât din perspectiva urmăririi referinței, rejectarea perturbațiilor, cât și în ceea ce privește robustetea. Rezultatele numerice sunt susținute și de rezultatele obținute experimental pe un sistem real.

## <u>Activitatea 3.2. Compararea rezultatelor în buclă închisă obținute în cazul FO-PID bazat pe</u> <u>evenimente cu cele obținute în cazul regulatoarelor FO-PID standard, cu analizarea</u> <u>avantajelor algoritmului dezvoltat în proiect în ceea ce privește o alocare mai eficientă a</u> <u>resurselor</u>

### 3.2.1. Rezultatele obținute pentru un sistem de ordin întâi ( $T >> \tau$ )

Pentru sistemul de ordin întâi cu timp mort, din ecuația (1), s-au comparat rezultatele obținute în cazul reglării cu un controller fracționar bazat pe evenimente, respectiv cu un controller fracționar, în implementare clasică. Regulatorul fracționar este dat în (2). Fig. 1 și 2 prezintă rezultatele obținute în cazul implementarii regulatorului fracționar bazat pe evenimente, în timp ce Fig. 19 și 20 prezintă rezultatele simulării în buclă închisă obținute cu același regulator fracționar, în implementare standard. Fig 1. prezintă răspunsul la o referință treaptă unitară: regulatorul fracționar bazat pe evenimente asigură eroare staționară la poziție nulă, suprareglaj nul și timp de răspuns de 12s. Comparativ, Fig. 19 prezintă răspunsul sistemului în buclă închisă obținut cu același regulator fracționar, implementat standard. Se constată același timp de răspuns, fără eroare staționară la poziție și fără suprareglaj, însă și prezența unui caracter oscilant al semnalului. În acest caz, regulatorul fracționar bazat pe evenimente asigură performanțe mai bune. La fel se constată și în cazul rejectării perturbațiilor. În Fig. 2 se poate observa dinamica sistemului în buclă închisă sub acțiunea unei perturbații, în cazul regulatorului fracționar bazat pe evenimente. Se

poate vedea eroarea staționară nulă și timpul de răspuns de aprox. 7s. În cazul implementării standard (Fig. 19), se constată un timp de răspuns aproape dublu (de 12s). În ceea ce privește semnalul de comandă, se constată variații mai reduse în cazul implementării bazate pe evenimente, cu amplitudini net diminuate, reducându-se și efortul de calcul, semnalul de comanda fiind calculat de 42 ori, comparativ cu 200 ori (în implementare standard, urmărirea referinței,  $T_s=0.1s$  – perioada de eșantionare); respectiv, de 41 ori, comparativ cu 150 ori (în implementare standard, rejectarea perturbației).



### 3.2.2. Rezultatele obținute pentru un sistem de ordin întâi (T $\ll \tau$ )

Pentru sistemul de ordin întâi cu timp mort, din ecuația (4), s-au comparat rezultatele obținute în cazul reglării cu un controller fracționar bazat pe evenimente, respectiv cu un controller fracționar, în implementare clasică. Regulatorul fracționar este dat în (5). Fig. 7 și 8 prezintă rezultatele obținute în cazul implementării regulatorului fracționar bazat pe evenimente, în timp ce Fig. 21 și 22 prezintă rezultatele simulării în buclă închisă obținute cu același regulator fracționar, în implementare standard. În cazul regulatorului bazat pe evenimente, timpul de răspuns în urmărirea referinței este de 7s, fără suprareglaj și cu eroare staționară la poziție nulă. Același timp de răspuns,

fără suprareglaj și cu eroare staționară la poziție nulă se obține și în cazul implementării standard (Fig. 21). În ceea ce privește rejectarea perturbației, în cazul regulatorului bazat pe evenimente (Fig. 8), timpul de răspuns este de 10s. Performanțe similare se obțin și în cazul implementării standard (Fig. 21). În ceea ce privește semnalul de comandă, se constată variații mai reduse în cazul implementării bazate pe evenimente, reducându-se și efortul de calcul, semnalul de comandă fiind calculat de 76 ori, comparativ cu 200 ori (în implementare standard, urmărirea referinței,  $T_s=0.1s$  – perioada de eșantionare); respectiv, de 68 ori, comparativ cu 150 ori (în implementare standard, rejectarea perturbației).



## 3.2.3. Rezultatele obținute pentru un sistem de ordin superior cu timp mort. Studiu de caz pe un echipament de tip vertical take off and landing (VTOL)

Pentru sistemul VTOL, din ecuația (7), s-au comparat rezultatele obținute în cazul reglării cu un controller fracționar bazat pe evenimente, respectiv cu un controller fracționar, în implementare clasică. Regulatorul fracționar este dat în (8). Rezultatele obținute cu regulatorul PI bazat pe evenimente comparat cu implementarea clasică a acestuia sunt prezentate în Fig. 23 și 24 pentru urmărirea referinței și rejectarea perturbației. După cum se poate vedea în Fig. 23, regulatorul bazat pe evenimente are un suprareglaj redus și timp de răspuns îmbunătățit față de cel implementat

clasic. Acest lucru este realizat prin configurarea optimă a parametrilor bazați pe evenimente la procesul VTOL ( $h_{nom} = T_s = 0.005s$ ,  $h_{max}=0.2$ ,  $\Delta_E=0.01$ ). Mai multe detalii legate de alegerea acestor parametrii de implementare și o analiză asupra efectelor acestora în răspunsul procesului sunt prezentate în [4]. În acest caz, regulatorul discret calculează valoarea semnalului de control de 4000 ori, comparat cu regulatorul bazat pe evenimente care calculează valoarea de control de 192 ori, reprezentând o îmbunătățire de 95.2% a efortului de comandă. Testul care validează regulatorul acordat la scenariul rejectării perturbației este prezentat în Fig. 24. După ce sistemul ajunge la valoarea staționară, se aplică o perturbație treaptă cu valoarea 0.2 la ieșirea procesului. După cum se poate vedea și în acest caz, răspunsul regulatorului bazat pe evenimente este îmbunătățit față de regulatorul discret. Din punct de vedere al efortului de comandă, pe durata de 15s a testului, regulatorul discret calculeaza comanda de 3000 ori, față de 84 de ori în implementarea bazată pe evenimente.



## Activitatea 3.3. Diseminarea rezultatelor

Toate activitățile menționate în planul de realizare pentru Etapa III, anul 2020, au fost realizate în proporție de 100%.

Rezultate estimate (menționate	Rezultate realizate în anul 2020
pentru anul 2020)	
1 lucrare ISI trimisa la o revista	1 lucrare publicata in revista ISI (factor de impact 2.217)
	2 lucrari acceptate spre publicare in reviste ISI (factor de
	impact cumulat 6.746)
	3 lucrari in evaluare in reviste ISI (factor de impact
	cumulat 14.330)
	5 lucrari publicate, acceptate sau in curs de evaluare
	conferinte in curs de indexare ISI
	1 lucrare acceptata conferinta internationala

Lucrări publicate, în recenzie și în curs de publicare

- I. Birs, S. Folea, O. Prodan, E. Dulf, C. Muresan (2020), "An experimental tuning approach of fractional order controllers in the frequency domain", Applied Sciences, vol. 10(9), pp. 2379, (ISI impact factor 2.217)
- 2. C. Ionescu, I. Birs, D. Copot, C. Muresan, R. Caponetto (2020), "Mathematical modeling with experimental validation of viscoelastic properties in non-Newtonian fluids", Philosophical Transactions of The Royals Society A, A 20190284, http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0284, accepted (ISI impact factor 3.093)
- 3. C.M. Ionescu, E.H. Dulf, M. Ghita, C.I. Muresan (2020), Robust Controller Design: Recent Emerging Concepts for Control of Mechatronic Systems, Journal of the Franklin Institute, accepted (**ISI impact factor 3.653**)
- 4. I. Birs, I. Nascu, C. Ionescu, C. Muresan (2020), "Event-based fractional order PID control", Journal of Advanced Research, under review, (ISI impact factor 5.045)
- 5. Muresan, I. Birs, R. De Keyser (2020), An Alternative Design Approach for Fractional Order Internal Model Controllers for Time Delay Systems, International Journal of Control, under review (ISI impact factor 2.930)
- 6. Muresan, C.I., Ionescu, C.M. (2020), Generalization of the FOPDT model, Automatica, under review (ISI impact factor 6.355)
- 7. I. Birs, C. Muresan, R. Both, I. Nascu (2020), "A real life implementation of fractional order event based PI control", 2020 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing,

Robotics AQTR 2020, May 21-23 2020, Cluj Napoca, Romania, under review (in curs de indexare ISI PROCEEDINGS)

- I. Birs, I. Nascu and C. I. Muresan (2020), "Fractional Order Internal Model Control Strategies for a Submerged Nanorobot," 2020 International SAUPEC/RobMech/PRASA Conference, Cape Town, South Africa, 29-31 January 2020, ISBN:978-1-7281-4163-3, Electronic ISBN: 978-1-7281-4162-6, DOI: 10.1109/SAUPEC/RobMech/PRASA48453.2020.9040977, pp. 1-6. (in curs de indexare ISI PROCEEDINGS)
- 9. I. Birs, C. Muresan (2021), "Implementation Strategies of event-based fractional order controllers in targeted drug delivery applications", International Conference on Mathematical Analysis and Applications in Science Engineering ICMASC, July 20-24 2020 (postponed due to the COVID-19 pandemic to 21-25 June 2021), Porto, Portugal, accepted (International conference)
- I. Birs, C. Muresan, I. Nascu, R. de Keyser (2020), "An event-based implementation of the KC autotuner for vertical take-off and landing control", International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2020), October 25-29 2020, Las Vegas, NV, USA, under review, (in curs de indexare ISI PROCEEDINGS)
- 11. Birs, I., Muresan, C. (2020), An event based implementation of a fractional order controller on a scalable nanorobot, The European Control Conference, St. Petersburg, Russia, 12-15 May 2020, accepted (in curs de indexare ISI PROCEEDINGS)
- De Keyser, R., Muresan, C. I. (2020), Internal Model Control: Efficient Disturbance Rejection for Dead-Time Process Models with Validation on an Active Suspension System, The European Control Conference, St. Petersburg, Russia, 12-15 May 2020, accepted (in curs de indexare ISI PROCEEDINGS)