

Raport științific

privind implementarea proiectului în perioada noiembrie– decembrie 2020

Contract TE 143/2020

**Regulatoare de ordin fracționar
cu autoacordare pentru sisteme slab
amortizate pentru a asigura
confortul sporit și siguranța
utilizatorului**

Rezumat: În cadrul Etapei 1 de implementare a grantului de cercetare TE143/2020 s-au realizat următoarele: analiza existenței utilităților software dedicate pentru exploatarea datelor bazate pe răspunsul indicial și domeniul frecvențial pentru procesele slab amortizate, cu scopul de a le utiliza în acordarea reguletoarelor automate. Activitățile din Etapa I de implementare au fost efectuate în proporție de 100%. Activitatea 1.1 vizează utilitățile software dedicate exploatarea datelor în domeniul timp. La ora actuală sunt prezentate o varietate de soluții software care folosesc diferite tehnici de identificare. Activitatea 1.2 analizează existența toolbox-urilor care exploatează date în domeniul frecvențial. Spre deosebire de prima activitate, numărul de utilitate strict frecvențiale este restrâns. System Identification, EzyFit și DSI Toolbox prezintă opțiuni de interpretare pentru ambele domenii. În concluzie, la ora actuală nu există un toolbox dedicat analizării datelor achiziționate de la procese slab amortizate. Literatura de specialitate prezintă doar soluții software generalizate care oferă o soluție largă, fără a ține cont de particularitățile procesului controlat. O comparație între utilitățile incluse în acest studiu este prezentată în tabelul de mai jos.

Nume	Domeniul timp	Domeniul frecvențial	Interfață grafică	Personalizarea metodelor folosite	Cost (2020)
IE, Das	x				0
LSQCURVEFIT/ Curve Fitting Methods	x		x		1000 euro - Curve Fitting Toolbox Matlab
PSO	x				1125 euro - Deep Learning Toolbox Matlab
Monte Carlo Methods	x			x	0
EzyFit	x	x	x		0
DIS Toolbox	x	x	x	x	0
IDTool	x				0
System Identification	x	x	x	x	1075 euro - System Identification Toolbox Matlab
FDIDENT		x	x	x	1100 euro - FDIDENT standalone addon

Activitatea 1.1. Studiul și analiza comparativă a utilităților software moderne pentru exploatarea datelor de răspuns indicial al sistemelor slab amortizate (SSA)

(Cox C. et.al., 2016) prezintă o comparație între utilitate software moderne pentru identificarea proceselor de ordinul I și II cu timp mort folosind răspunsul indicial. Metodele de estimare bazate pe metoda *integral equation estimation (IE)*, *LSQCURVEFIT* (algoritm disponibil implicit în Optimization Toolbox oferit de Matlab), Particle Swarm Optimization (disponibil în Matlab, dar și în alte librării de Machine Learning precum TensorFlow, Tensor2Tensor, Keras Snipper, Theano care pot fi importate în orice mediu de dezvoltare) și algoritmul introdus în (Das et. al., 2011) sunt comparate pentru două scenarii diferite: semnalul treaptă de identificare este aplicat în regimul staționar, semnalul treaptă este aplicat în regimul tranzitoriu. Comparația celor 4 metode denotă faptul că toate metodele obțin modele ideale dacă datele utilizate nu conțin zgomot. Pentru seturi de date zgomotoase, precum cele întâlnite în procesele reale, PSO obține cele mai bune rezultate pentru procesele de ordinul I cu timp mort, celelalte metode obținând uneori instabilitate. Din punct de vedere al proceselor de ordinul II cu timp mort, toate metodele oferă modele stabile, iar ordinea acestora în funcție de performanță bazată pe criteriile IAE și MSE este metoda IE, PSO, LSQCURVEFIT și Das.

În (Wills A. et.al., 2011) este prezentată o abordare Bayesiană pentru identificarea sistemelor liniare prin fuziunea erorilor de tip *mean square error* și *associated conditional mean estimate*. Algoritmul prezentat ilustrează o abordare Gibbs discretă care este un algoritm aleator din familia lanțurilor Markov și a metodei Monte Carlo. Algoritmul prezentat este validat cu succes pe diferite exemple, arătând că nu este nevoie de personalizări făcute de utilizator, ci doar de seturi de date. Abordarea privind metodele Monte Carlo este prezentată și de (Schön T. et. al., 2011) pentru sisteme neliniare și modele de tip spațiul stărilor. Se prezintă algoritmi de identificare bazați pe Sequential Monte Carlo combinați cu alte strategii de identificare bazate pe date în domeniul timp. Algoritmii prezentați pot fi implementați în Matlab, Python sau Java.

O altă gamă de metode de identificare se bazează pe procesul de *curve fitting* și folosesc criterii de performanță precum IAE, MSE, etc. pentru calcularea unui model optim pentru setul de date introdus. Astfel de metode au fost compactate în Curve Fitting Toolbox din Matlab. (Ljung L., 2003) extinde acest toolbox prin EzyFit, un add-on pentru Curve Fitting Toolbox dedicat identificării proceselor. Principalul avantaj al toolbox-ului EzyFit este faptul că utilizatorul are o interfață grafică prin care poate interacționa cu toolbox-ul, acesta fiind ideal pentru persoane care nu sunt familiarizate cu mediul de programare Matlab. Dynamic System Identification Toolbox este o utilitară software începută în anul 1994 și dezvoltată inițial în Fortran, apoi în C. Variantele moderne ale librăriei prezintă integrarea cu mediul Matlab. Acest software este stufos și integrează aproximativ 100 metode matematice de analiză a datelor. DSI Toolbox a fost dezvoltat inițial pentru măsuri fazoriale ale rețelelor electrice și exploatarea datelor, însă acesta a fost folosit cu succes și pentru identificarea proceselor utilizând răspunsul în domeniul timp de (Mutesi P. et.al., 2016), (Khazaei et.al., 2016) și (Sadeqi A, et.al. 2019). Metodele de identificare bazate pe analiza Prony a semnalelor detaliată de (Hietpas S.M., 1994) a fost extrapolată într-o utilitară software cu interfață grafică cunoscută sub denumirea de PronyToolbox (PTBox). Metoda este unică deoarece vizează o excitație de tip impuls pentru determinarea unui model matematic (Dedovic M.M. et.al., 2020). (Fikar M., 2006) prezintă un toolbox numit IDTOOL scris exclusiv în Matlab care identifică modele continue și discrete bazate pe metoda LDDIF - *recursive least squares algorithm with exponential and directional forgetting*. Avantajul acestui software este interfața grafică pentru identificarea unor funcții de transfer continue sau discrete. Dezavantajul este lipsa flexibilității, toolbox-ul utilizând o metodă de identificare fixă și poate genera doar modele descrise de funcții de transfer.

Printre cele mai populare toolbox-uri existente, este cel oferit de MatLab sub denumirea de System Identification Toolbox (L. Ljung, 2011). Soluția este versatilă și încorporează o gamă largă de metode de estimare. Pot fi identificate atât metode continue cât și discrete. De asemenea, modelul final poate fi exprimat ca funcție de transfer, model în spațiul stărilor, model ARMAX, etc. Toolbox-urile oferă funcții de prefiltrare a datelor introduse. Toolbox-ul oferă opțiunea de "quick mode", utilă în cazul utilizatorilor care nu au experiență în procesarea datelor și identificarea sistemelor. Singurul dezavantaj al platformei este prețul, această este vândută separat de programul Matlab. Și această utilitară software prezintă doar soluții generale de identificare, cu diverse opțiuni de personalizare al procesului de identificare în funcție de natura procesului. Cu toate acestea, nu prezintă nicio metodă dedicată proceselor slab amortizate. În (Keyser R. et.al., 2019) se utilizează platforma System Identification pentru identificarea unui model de ordinul II cu timp mort pe baza unor date achiziționate de la un stand practic. Această metodă este ulterior comparată cu o metodă dedicată identificării proceselor slab amortizate. Concluzia studiului este că metoda dedicată obține performanțe superioare față de identificare realizată automat.

Activitatea 1.2. Studiul și analiza comparativă a utilităților software moderne pentru exploatarea datelor de răspuns frecvențial al sistemelor slab amortizate (SSA)

O parte din utilitățile prezentate la Activitate 1.1 suportă identificarea proceselor bazată pe răspunsul frecvențial. Printre acestea se numără System Identification Toolbox, DSI Toolbox și EzyFit. Rezultatele obținute folosind identificarea în domeniul frecvențial variază în funcție de natura procesului și calitatea datelor achiziționate. (McKelvey T., 2002) prezintă o metodă de identificare pentru exploatarea datelor în domeniul frecvențial care utilizează date din domeniul timp, pe care

aplică transformări precum Fourier. Apoi, datele frecvențiale sunt exploatate pentru determinarea unui model matematic sau chiar a unui regulator. În (Kollár I. et.al., 1997) este prezentat Frequency Domain System Identification (FDIDENT) Matlab toolbox, care încorporează o varietate de metode de identificare frecvențială. La baza utilității stă metoda bazată pe *weighted least squares* folosită pentru identificarea modelelor de ordine diferite, cu timp mort. De asemenea, toolbox-ul oferă posibilități de identificare a funcțiilor de transfer nonparametrice. Precum în cazul ident, se pot efectua operațiuni de prefiltrare a datelor, estimarea parametrilor, prezentarea modelelor posibile și erorile aferente, validarea modelului și simularea acestuia.

Bibliografie

- Cox C., Tindle J., Burn K., A comparison of software-based approaches to identifying FOPDT and SOPDT model parameters from process step response data, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (1), pp. 100-114, 2016.
- Das S., Saha S., Das S., Gupta A., On the selection of tuning methodology of FOPID controllers for the control of higher order processes, *ISA Transactions*, 50, 376–388, 2011.
- Dedovic M.M., Mujezinović A., Dautbasic N., Identification on Dominant Oscillation Based on EMD and Prony's Method Approach. In: Avdaković S., Volić I., Mujčić A., Uzunović T., Mujezinović A. (eds) *Advanced Technologies, Systems, and Applications V. IAT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 142. Springer, 2020.
- Fikar M., IDTOOL 4.0 - A Dynamical System Identification Toolbox for MATLAB/Simulink, In 14th Annual Conference Proceedings: Technical Computing Prague, 2006.
- Hietpas S.M., Pierre D.A., System Identification Using Prony Methods For Digital Control Systems, *IFAC Proceedings Volumes*, 27 (8), 1994.
- Keyser, R. and C. Muresan. "Robust Estimation of a SOPDT Model from Highly Corrupted Step Response Data." 2019 18th European Control Conference (ECC) (2019): 818-823.
- Khazaei J., Fan L., Jiang W. and Manjure D. Distributed Prony analysis for real-world PMU data. *Electric Power Systems Research*. 133. 113-120. 10.1016/j.epsr.2015.12.008, 2016.
- Kollár I., Pintelon R., Schoukens J., Frequency Domain System Identification Toolbox for MATLAB: Improvements and New Possibilities, *IFAC Proceedings*, 30(11),943-946, 1997.
- Ljung, L., *Linear System Identification as Curve Fitting*, 2003.
- Ljung, L., *System Identification Toolbox for use with MATLAB*. 21. 2011
- McKelvey, T. Frequency domain identification methods. *Circuits Systems and Signal Process* 21, 39–55 (2002).
- Mutesi P., Wangdee W. and Chumnanvanichkul S. Online oscillatory stability estimation of power system using DSI Toolbox. 1-6. 10.1109/ECTICon.2016.7561290, 2016.
- Sadeqi A., Moradi S., Heidari S.K. System Identification Based on Output-Only Decomposition and Subspace Appropriation. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*. 141, 2019.
- Schön T., Lindsten F., Dahlin J., Wågberg J., Naesseth C.A., Svensson A., Dai L., Sequential Monte Carlo Methods for System Identification, *IFAC-PapersOnLine*, 48 (28), 775-786, 2015.
- Wills A., Lindsten F. and Ninness B., Estimation of linear systems using a Gibbs sampler, in *Proceedings of the 16th IFAC Symposium on System Identification (SYSID)*, Belgium, 2012.

Muresan Cristina Ioana