



Domeniul fundamental Inginerie  
Domeniul de specialitate Ingineria Sistemelor

# **TEZĂ DE ABILITARE**

## **- REZUMAT -**

**Noi Metode pentru Proiectarea Regulatorilor de Ordin  
Fracționari și Aplicațiile lor Practice**

**Conf. Dr. Ing. Cristina Ioana MUREȘAN**  
**Facultatea de Automatică și Calculatoare**  
**Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca**

**- Cluj-Napoca -**  
**2021**

Calculul fracționar este prima dată menționat în scrisorile dintre Leibniz și L'Hospital din 1695. La momentul respectiv era un paradox, dar Leibniz a prevăzut importanța acestei idei specificând ca într-o bună zi, calculul fracționar va contribui la rezultate utile. 300 de ani mai târziu, după numeroase cercetări în domeniu, calculul fracționar și-a pus amprenta în domenii diverse. Ar fi lipsit de etică să nu se menționeze aici lucrările de impact ai unor cercetători cum ar fi Abel, Liouville, Oldham, Spanier, Riemann, Sonin, Letnikov, precum și mulți alții.

Teoria calculului fracționar a fost și este în continuare urmărită de controverse. Cercetările curente întreprinse de către Caputo, Oustaloup, Podlubny, Chen, Machado și alții, alături de dezvoltarea dispozitivelor cu putere mare de calcul au facilitat utilizarea conceptelor legate de calculul fracționar în modelarea proceselor, dar și în generalizarea reguletoarelor clasice. La ora actuală, sistemele de ordin fracționar sunt folosite pentru a descrie procese caracterizate de efecte ereditare, nu aplicații în liniile de transmisie, bio-medicina, difuzie, radare, sonare, procesarea imaginilor, estimarea parametrilor proceselor și modelarea fenomenelor vâscoelastice. În sisteme de control, calculul fracționar a proliferat datorită avantajelor posibile legate de capacitatea de a crește performanțele în buclă închisă și robustețea. Numeroase probleme rămân însă nerezolvate, în ceea ce privește analiza stabilității sistemelor fracționare cu timp mort, aproximarea sistemelor de ordin fracționar, conceptul unui timp mort de ordin fracționar, etc. Comunitatea cercetătorilor din domeniu este pe punctul de a extinde și mai mult rezultatele utile, așa cum anticipa Leibniz.

Cercetarea mea, după acordarea titlului de doctor în 2011, a fost centrată pe calculul fracționar. Contribuțiile mele în domeniul ingineriei reglării automate se referă tocmai la cercetarea legată de proiectarea și implementarea reguletoarelor de ordin fracționar. Rezultatele cercetării au fost diseminate în reviste de top Q1/Q2 și în cadrul unor conferințe de prestigiu, cu peste 150 lucrări publicate, mare lor majoritate abordând tematica calculului de ordin fracționar. Pe parcursul ultimilor 10 ani, am dezvoltat o serie de metode noi de acordare a reguletoarelor de ordin fracționar, incluzând aici câteva extensii ale acestora pentru metodele avansate de control, noi metode de a compensa efectul timpului mort și aplicații pentru procese multivariabile (de fază neminimă și cu timp mort). Împreună cu colegii mei, am abordat pentru prima dată ideea unui reglator de ordin fracționar bazat pe evenimente, propunând variante de implementare, testate și validate. În plus, am dezvoltat o serie de algoritmi pentru autoacordarea reguletoarelor de ordin fracționar, o abordare relativ puțin discutată în literatura de specialitate. Am propus, totodată, și o metoda simplă, eficientă de aproximare a sistemelor de ordin fracționar.

În ceea ce privește domeniile aplicative abordate, cercetarea mea s-a centrat pe controlul proceselor chimice, a coloanelor de separare izotopică, probleme de atenuare a vibrațiilor în clădiri și aeronautică, controlul proceselor instabile. În ultimii 4 ani, am abordat gradual probleme legate de modelarea și controlul proceselor din biomedicina, cum ar fi controlul de ordin fracționar în dozarea medicamentelor prin medii cu caracteristică non-Newtoniană, pentru stabilizarea pacientului aflat sub anestezie, etc. În acest sens, am studiat modelarea și controlul de ordin fracționar al nano-robotilor pentru dozarea medicamentelor, realizându-se alături de colegii din Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca un stand experimental care să permită aceste studii. Pe lângă aceasta, am contribuit la dezvoltarea strategiilor de control pentru stabilizarea hemodinamică, cu prima propunere de reglator multivariabil de ordin fracționar menționată în literatura de specialitate, precum și la analiza, modelarea și controlul componentelor din anestezie. Toate aceste rezultate sunt legate de teme noi în modelarea și controlul de ordin fracționar. Alte direcții de cercetare sunt de asemenea descrise în teza de abilitare.

Teza este structurată pe două părți, precedate de partea introductivă. În acest prim capitol se prezintă motivarea tezei, alături de o descriere succintă a activităților didactice, de cercetare și de management.

Principala tema abordată după finalizarea studiilor doctorale este cea a calculului de ordin fracționar. Astfel, teza de abilitare prezintă un rezumat al realizărilor profesionale importante în acest domeniu.

Primul capitol prezintă metode noi de proiectare a reguletoarelor de ordin fracționar. Al doilea capitol introduce metodele noi de autoacordare a reguletoarelor PI și PD de ordin fracționar. Majoritatea metodelor de proiectare a reguletoarelor de ordin fracționar utilizează un model al procesului. În absența acestui model, aceste metode nu se pot aplica. Aici intervin metodele de autoacordare. Cercetarea în domeniul proiectării reguletoarelor de ordin fracționar este destul de dezvoltată. În schimb, există foarte puține metode de autoacordare. În acest capitol al tezei se prezintă două astfel de metode. Cel de-al treilea capitol descrie prima abordare legată de implementarea unui reglator de ordin fracționar bazată pe evenimente. Se detaliază necesitatea și oportunitatea unei astfel de implementări, care duce la utilizarea mai eficientă a resurselor. Astfel, unitatea CPU va calcula un nou semnal de comandă doar la apariția unui eveniment, reducând astfel efortul de control. Cercetarea în acest domeniu nu este însă foarte dezvoltată, lucrările recente arătând succesul unor astfel de controllere (PID clasice) utilizate în aplicații industriale. Implementarea unui reglator PID de ordin fracționar de o astfel de manieră este însă dificilă. Aceasta se datorează problemei legate de a determina o ecuație de recurență generalizată pentru semnalul de comandă în funcție de o perioadă de eșantionare variabilă. Nici o altă lucrare, în afară de cele publicate împreună cu colegii mei, nu explorează posibilitățile de implementare a reguletoarelor de ordin fracționar bazată pe evenimente. Echipa noastră este prima care a publicat un studiu în acest sens. Această abordare este însă promițătoare deoarece combina avantajele reguletoarelor de ordin fracționar și a implementării bazate pe evenimente. Cel de-al patrulea capitol al tezei detaliază o metodă nouă de implementare discretă a sistemelor de ordin fracționar. Acestea sunt extrem de versatile, având aplicații în domenii variate. Însă, principala problemă constă în implementarea acestora. Se utilizează în general aproximări numerice, dar pentru o acuratețe ridicată acestea trebuie să fie de ordin superior. În acest fel, simplitatea sistemelor de ordin fracționar cu puțini parametri este pierdută. Am propus o soluție pentru această problemă, o soluție ce constă într-o metodă nouă, simplă de aproximare a sistemelor de ordin fracționar având un ordin al aproximării mic, dar rămânând în același timp extrem de eficientă. În acest capitol, se descrie această metodă, precum și exemple care să o valideze.

Capitolele principale 1-4 ale tezei evidențiază rezultatele cele mai importante obținute în cercetare. Pe lângă cele menționate pe larg, am abordat și alte teme de cercetare. Scopul capitolului următor este de a descrie succint aceste abordări și teme adiționale. Rezultatele acestor cercetări se regăsesc în lucrările citate. Teza de doctorat a avut ca temă de cercetare dezvoltarea strategiilor de control pentru o coloană de separare izotopică. Prin urmare, cercetarea imediat următoare a fost centrată pe dezvoltarea și implementarea strategiilor de control de ordin fracționar pe astfel de procese sau procese chimice similare, descrise prin matrici de funcții de transfer cu timp mort. Dezvoltarea de noi strategii de control de ordin fracționar a reprezentat o tematică permanentă pe parcursul carierei profesionale. Aș menționa aici, pe lângă metodele descrise în detaliu în teza de abilitare, și metoda vectorială, metoda bazată pe condiții matematice, etc. Ca și aplicații, metodele dezvoltate au fost testate pe sisteme mecatronice, structuri civile, stații de epurare ale apelor uzate, sisteme de tip quad rotor, sisteme de iluminat, etc. Adițional acestei teme, am abordat și cercetarea legată de

compensarea efectului timpului mort, metode de control predictiv, IMC, predictor Smith pentru procese multivariable. De asemenea, includ aici și cercetarea legată de dezvoltarea unor metode de autoacordare pentru regulatoarele clasice PID.

Un rezumat al cercetării în domeniul biomedical este prezentat în cele ce urmează. O componentă a cercetării în acest domeniu se referă la proiectarea regulatoarelor de ordin fracționar pentru co-sistemul anestezie și hemodinamică, acesta fiind caracterizat de interacțiuni multiple și de timp mort. O temă similară se referă la modelarea și controlul unui robot de dimensiune redusă ce tranzitează un mediu non-Newtonian. Un stand experimental a fost dezvoltat pentru a simula o parte a sistemului circulator. Problema principală a fost de a modela și a proiecta un regulator care să asigure o poziționare exactă a robotului pentru dozarea precisă a medicamentelor.

Activitatea mea de cercetare urmărește dezvoltarea unor noi algoritmi de control și a unor metode noi de proiectare, țintind regulatoarele de ordin fracționar. Pe viitor, doresc să continui cercetarea în acest domeniu, să contribui activ la identificarea unor rezultate utile ale teoriei calculului de ordin fracționar în viața curentă. În acest sens, îmi propun să continui dezvoltarea de metode de autoacordare pentru regulatoarele de ordin fracționar și analizarea detaliată a algoritmilor de implementare bazați pe evenimente. Autoacordarea regulatoarelor de ordin fracționar reprezintă un domeniu mai puțin cercetat, deși astfel de controllere ar facilita implementarea algoritmilor de reglare de ordin fracționar în aplicații industriale. O metodă simplă și directă de proiectare, ar contribui la utilizarea regulatoarelor de ordin fracționar acolo unde datele necesare pentru modelarea proceselor sunt limitate. O metodă simplă de autoacordare împreună cu o variantă de aproximare de ordin redus, precum și performanțele mai bune în buclă închisă și robustețea ar crește popularitatea acestor tipuri de regulatoare. Mai mult, o implementare bazată pe evenimente ar face regulatoarele și mai eficiente. Combinând aceste concepte s-ar putea teoretic obține rezultate și mai bune. Pentru a putea implementa eficient algoritmi bazați pe evenimente, este necesară o analiză detaliată. Diferite modificări propuse la nivelul regulatoarelor PID bazate pe evenimente ar putea fi extinse și la cele de ordin fracționar. O analiză legată de alta posibilități de implementare se poate de asemenea realiza. Pe termen lung, voi aborda posibilitatea dezvoltării unor toolbox-uri dedicate regulatoarelor de ordin fracționar care să utilizeze conceptele deja dezvoltate, precum și cele ce se preconizează a se obține.

Ca și obiectiv pe termen scurt, doresc să aprofundez tema legată de modelarea și controlul proceselor biomedicale (anestezie, hemodinamică, etc). Cercetarea curentă pe această temă se axează pe dezvoltarea unui model cu parametri variabili pentru a aproxima răspunsul analgezic al pacienților din terapie intensivă. Scopul este de a determina un model al durerii, pentru a completa sistemul multivariabil ce descrie dinamica pacientului sub anestezie. Pentru a control eficient acest sistem, voi urmări proiectarea unor regulatoare de ordin fracționar care să fie robuști la variațiile timpilor morți. Această abordare ar fi posibilă prin specificarea unui indice care să minimizeze eroarea, dar care în același timp optimizează dozarea medicamentelor.

Obiectivele stabilite în ceea ce privește pașii următori în cariera didactică și de cercetare sunt amintite mai jos:

- Adaptarea continuă a materialelor didactice pentru a include ideile recente din ingineria reglării automate, precum și utilizarea unor metode noi de predare, bazate pe metode interactive care să ofere studenților posibilitatea de a testa efectele diferitelor tipuri de regulatoare și ai parametrilor lor.
- Dezvoltarea a noi teme de laborator/proiect care să abordeze aplicații practice. Ideal ar fi ca aceste noi teme de laborator/proiect să fie accesibile și online.

- Suport financiar pentru tineri cercetători care doresc să obțină un titlul de master/doctor și să se implice în activitatea de cercetare
- Atragerea de fonduri pentru cercetare (la nivel național/internațional). Doresc să participi în acest sens în proiecte de cercetare internaționale ca și membru cercetător, iar mai apoi să aplic pentru astfel de granturi din postura de PI. Pe termen scurt, planuiesc să îmbunătățesc și să actualizez propunerile actuale pentru următoarele apeluri de proiecte PCE/PED la nivel național, propunerea Marie Curie Fellowship, să obțin finanțare prin programele de tip COST sau EU alături de colegi cercetători din Belgia, Portugalia, Polonia, Ungaria, etc.
- Organizarea unor sesiuni speciale și ediții speciale în cadrul unor conferințe și reviste de prestigiu.