



**Universitatea *Transilvania* din Braşov**

**TEZĂ DE ABILITARE  
REZUMAT**

**SERVOSISTEME PENTRU CONTROLUL MISCĂRII ÎN  
TEHNICA ROBOTILOR**

**Domeniul: Inginerie electrică**

**Autor: Prof. dr. ing. Aurel Fratu  
Universitatea *Transilvania* din Braşov**

**BRASOV, 2015**

## Rezumat

În cadrul tezei actuale de abilitare, realizările mele științifice, profesionale și academice sunt cuprinse într-o perioadă, începând cu anul 1994 (data la care teza de doctorat a fost susținută, apoi atestată prin Ordinul ministrului 6082 / 21.04.1994) până în prezent (2014). Unele dintre granturile mele naționale și internaționale de cercetare, articole importante, cărți, brevete, cursuri predate sunt, de asemenea, detaliate în contextul stadiului actual al domeniului științific al ingineriei electrice, cu accent pe aspectele inovatoare și contribuții personale.

Prima parte (A) a tezei de abilitare este constituită din prezentul rezumat în limba română.

Cea de a doua parte (B) a tezei curente se referă la realizări științifice, profesionale și planul de evoluție și dezvoltare a carierei și este formată din trei secțiuni (B-i), (B-ii) și (B-iii).

Secțiunea (B-i) conține patru capitole care tratează patru teme principale de cercetare, prefatate de o introducere.

În introducere se prezintă o privire de ansamblu asupra activității autorului tezei de abilitare, cu referire la cele mai importante direcții de cercetare - clasificate în patru teme principale - realizările profesionale și academice, disciplinele nou introduse, cursuri predate, contribuția la dezvoltarea curriculei universitare, misiuni de profesor invitat, studenți în stagiu, conducerea lucrărilor de diplomă și disertație, cooperare internațională, activități de management, etc.). Cele mai importante aspecte menționate sunt: un număr de 73 de articole de cercetare publicate în perioada menționată mai sus, 4 granturi de cercetare (2 ca director de contract) și 8 cărți.

În capitolul 1 este prezentată următoarea temă:

- **Modele dinamice pentru proiectarea sistemului de control al sistemelor integrate de roboți și sisteme de acționare**

Principala sarcină a sistemului de control a mișcării robotului manipulator este de a genera mișcare în spațiul sarcinii robotice, cu o comandă dată la nivelul sistemelor de acționare. Abordarea actuală sistematică a proiectării controlerelor pentru sisteme neliniare este metoda liniarizării folosind feedback-ul. Ideea de bază a acestei tehnici este aceea de a proiecta o lege de control care anulează /compensează neliniaritățile sistemului și rezultă un sistem cu circuit închis cu o dinamică liniară.

În primul subcapitol al capitolului 1 se studiază o ecuație universală de mișcare pentru sisteme robotizate cu constrângeri. Aici, problema controlului sistemelor neliniare este analizată fără a lua în calcul tipul de controler care urmează să fie utilizat.

Rezultatele prezentate în această lucrare oferă metode noi și explicite pentru controlul sistemelor puternic neliniare.

Al doilea subcapitol al capitolului 1 se referă la proiectarea sistemului mecatronic pentru controlul mișcării de mare viteză, folosind o buclă feed-forward.

În sistemele integrate de roboți și sisteme de acționare principalele caracteristici, în mod special în controlul vitezei de mișcare, sunt complexitatea dinamicii și incertitudinile, atât parametrice cât și dinamice. Incertitudinile parametrice apar din cunoașterea imprecisă a parametrilor cinematici și a parametrilor de inerție, în timp ce incertitudinile dinamice apar din cauza flexibilității legăturilor dintre articulații, dinamicii actuatorilor, frecării, zgomotului senzorial și necunoașterii dinamicii mediului.

Abordarea propusă include proiectarea sistemului de acționare și control a mișcării. Scopul este de a proiecta atât transmisia mecanică cât și motorul electric pentru a atinge specificațiile de performanță cu ajutorul controlerului. Modelul elasto-dinamic invers al sistemului este utilizat pentru a genera comandă și pentru a stabili constrângerile de proiectare datorită limitelor fizice. Proiectarea este realizată folosind frontiera Pareto care permite o alegere optimă a motorului, precum și o dimensionare optimă a mecanismului de transmisie. În exemplul prezentat se arată că această abordare de proiectare conduce la obținerea unui sistem robot integrat robust, tolerant la erori de modelare și identificare.

În capitolul 2 este prezentată următoarea temă:

- **Interfețe haptice.**

În primul subcapitol al capitolului 2 se abordează problema de stabilitate a interfeței haptice în contact cu un perete virtual. Această lucrare prezintă o imagine de ansamblu cu privire la metodologie și la regiunea de stabilitate afectată de anumiți parametri: coeficientul de amortizare fizică, constanta de întârziere, caracteristici dinamice ale operatorului uman.

Scopul acestei lucrări este de a analiza influența parametrilor dinamici asupra granitelor de stabilitate. Acest studiu arată modul în care factorii cum ar fi coeficientul de amortizare fizică, temporizarea și parametrii operatorului uman afectează stabilitatea unui sistem haptic. Influența tipului de vibrații asupra stabilității, este de asemenea studiat în această lucrare. Rezultatele sunt efectuate asupra parametrilor fizici ai unei interfețe haptice de tip PHANTOM®.

În al doilea subcapitol al capitolului 2 este descrisă o metodă pentru ilustrarea senzației tactile a operației de tăiere, folosind un tip de foarfece-robot virtual. Este prezentat un nou algoritm pentru a fi utilizat în manipulări generale interactive ale obiectelor deformabile. Algoritmul a fost dezvoltat pentru a afișa deplasarea simultană de translație (de înaintare) și de rotație (de decupare) pentru o simulare realistă a operației de tăiere. Am arătat că animațiile interactive pot fi utilizate pentru a simula funcționarea dispozitivelor de tip foarfece, folosind reacția de forță / cuplu. Prin această lucrare se obține experiență în procesul de proiectare în mediul virtual și se determină noi caracteristici ale posibilelor dispozitive de tip foarfece-robot care folosesc reacția de cuplu.

În capitolul 3 este prezentată următoarea temă:

- **Evitarea reciprocă a coliziunii robotilor**

Scopul primului subcapitol al capitolului 3 este de a analiza problema cinematicii inverse a roboților redundanți și de a defini sarcina robotică de-a evita obstacolele, folosind mișcarea spontană. Strategia propusă permite utilizarea gradelor de libertate redundante, astfel încât un manipulator să poată evita obstacolele în timp ce efectorii finali urmăresc traiectoria dorită. Se presupune că obstacolele, aflate în spațiul de lucru al manipulatorului sunt statice. Această strategie este aplicată și atunci când configurația manipulatorului poate fi influențată de cerințe suplimentare, cum ar fi limitările la nivelul articulațiilor, etc.

Eficacitatea strategiei propuse este analizată din punct de vedere teoretic și ilustrată prin simularea mișcării - între obstacole simetrice - a unui manipulator redundant cu patru grade de libertate. Se constată că strategia propusă - în scopul evitării coliziunii în timp ce efectorii finali urmăresc traiectoria impusă - este eficientă și practică.

Cea de a doua lucrare dezvoltă o metodă originală de-a evita coliziunea, bazată pe conceptul de imitare a mișcării. Operația de imitare a mișcării, presupune existența unui demonstrator și a unui imitator. În demersul nostru demonstratorul este prototipul robot virtual și imitatorul este

robotul fizic real. Intrările pentru procedura de imitație sunt traiectoriile virtuale articulare, reprezentate ca o secvență de valori unghiulare ale articulațiilor sale. Imitatorul imită mișcarea originală capturată de la prototipul virtual, și în același timp, respectă constrângerile fizice.

Punctul forte al metodei propuse este că oferă o re-planificare on-line a mișcării în fața perturbărilor (obstacolelor) spatio-temporale, folosind anumite scenarii. Mișcarea modelului robot virtual trebuie să acopere toate situațiile posibile - inclusiv prezența obstacolelor accidentale - pentru care robotul fizic va trebui să genereze mișcări similare.

Metoda de evitare a coliziunilor, bazată pe imitarea de prototipuri virtuale, trebuie încă îmbunătățită pentru a răspunde la întrebarea: cum pot fi actualizate on-line modelele sistemelor dinamice virtuale pentru a lua în considerare evenimentele dinamice din mediul real? Autorul estimează că programarea prin imitație, complet automatizată, folosind un sistem suficient de robust pentru aplicații practice, nu va deveni realitate înainte de sfârșitul acestui deceniu.

În capitolul 4 este prezentată următoarea temă:

- **Modelarea și simularea comportamentală a roboților în medii vizuale.**

Scopul primului subcapitol al capitolului 4 este de a evalua problema prototipării virtuale. Prototiparea virtuală reprezintă un mijloc pentru a descrie calitativ comportamentul produsului sub diverse aspecte. Prototiparea virtuală este o disciplină de inginerie software, care implică modelarea unui sistem, simularea și vizualizarea comportamentului său în condiții de funcționare reale și rafinarea proiectului printr-un proces iterativ. Comportamentul full-motion a sistemelor robotice complexe poate fi analizat înainte de a construi un prototip hardware real. Utilizatorii pot explora rapid multe variante de proiect, de testare și rafinare până când sistemul robotic este optimizat. Acest lucru poate ajuta la reducerea timpului și a costurilor de dezvoltare a unui nou produs.

Scopul propus în cel de-al doilea subcapitol al capitolului 1 este de a sublinia rolul simulării în diferite domenii ale roboticii. Având capacitatea de a simula, se deschide o gamă largă de opțiuni pentru rezolvarea multor probleme în mod creativ. Se poate modela, vizualiza, investiga și testa un braț de robot, chiar dacă aceasta nu există. Se pot vedea performanțele unui sistem robotic înainte de a fi construit. În mediul virtual este posibil ca soluțiile alese să esueze sau sistemul proiectat să "explodeze" fără a avea consecințe asupra prototipului virtual.

Simularea a fost recunoscută ca un instrument important în robotica, în proiectarea de noi roboți, investigarea performanțelor lor și în proiectarea aplicațiilor acestora. Simularea permite studierea caracteristicilor structurale și a funcțiilor sistemelor robotice, la diferite niveluri de detaliu, fiecare situație având cerințe diferite pentru instrumentele de simulare. De exemplu, un proces rapid - cum ar fi deplasarea unei articulații robot - poate fi încetinit pentru a observa toate detaliile în "slow motion".

Pe măsură ce complexitatea sistemului crește, rolul simulării devine tot mai important și folosind instrumentele de simulare se pot îmbunătăți proiectele.

În al doilea subcapitol al capitolului 4 se propune folosirea mediului vizual de programare Delphi, pentru a modela și simula comportamentul brațelor robotice de tip serial și de tip paralel. Simulările realizate pentru aceste aplicații au servit la dezvoltarea metodelor sistematice pentru crearea de noi sisteme robotizate.

Rezultatele acestei analize constă în identificarea proprietăților și a constrângerilor care pot apărea în cazul prototipurilor fizice homonime. Structurile virtuale create în această lucrare

includ aplicatiile cu brate robotice de tip serial ( exemplificare - pentru statii de triere bagaje) si respectiv cu brate robot paralele ( exemplificare - pentru platforme de tip hexapod).

Este important de retinut ca principalele rezultate obtinute în domeniul primei directii de cercetare *Modele dinamice pentru proiectarea sistemului integrat de control robot si sisteme de acțiune* sunt identificate în sectiunea (B-iii), de existenta cuvintelor *control* si *robot* în titlul unui număr de 19 articole publicate de autorul tezei de abilitare. De asemenea, un contract de cercetare abordeaza o temă similară.

A doua direcție de cercetare, si anume *Interfetele haptice* a fost tratata în 5 articole publicate de autorul tezei de abilitare (identificate de existența cuvântului *haptic* în titlu lor, în sectiunea (B-iii)).

Cea de a treia problematica, aceea de *Evitare reciproca a coliziunii robotilor* a fost investigata într-un număr de 8 articole publicate de autorul tezei de abilitare (a se vedea referintele cu existenta cuvintelor *evitare coliziuni* în titlu lor, în sectiunea (B-iii)).

Rezultatele privind ultima directie de cercetare, *Modelarea si simularea comportamentului robotilor în medii vizuale*, au fost publicate de autorul tezei de abilitare în 6 articole (a se vedea referintele cu existența cuvintelor *modelare si simulare* în titlul lor, în sectiunea (B-iii)).

Cea de-a doua sectiune (B-ii) prezinta *Planul de evolutie si dezvoltare a carierei*

Pentru viitor cercetarea unor noi strategii de comunicare - între mediul informatic virtual si cel fizic real - sunt avute in vedere pentru a fi profund studiate (cu aplicații pentru *interfete haptice* si aplicatii care vizeaza *evitarea reciproca a coliziunilor*). Noi solutii de implementare vor fi propuse (de exemplu *platforma de programare prin imitatie*, bazată pe o idee originală brevetata). De asemenea, am de gând să investigheze noi domenii de cercetare în colaborare cu cercetatori de la Universitatea din Valenciennes si Universitatea din Reims - Franta.

Cea de-a treia sectiune (B-iii) este dedicată referințelor bibliografice.