

CONTRIBUȚII LA STUDIUL UNUI SISTEM MECATRONIC PENTRU RECUPERAREA PERSOANELOR CU DIZABILITĂȚI

Rezumat

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea “Politehnica” din Timișoara
în domeniul Inginerie Mecanică
de către

Ing. Nina GORIE

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Valer DOLGA
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing.Doina PÎSLĂ
prof.univ.dr. ing.Gheorghe MOGAN
conf.univ.dr.ing. Erwin LOVASZ

Ziua susținerii tezei: 28.02.2014

Facilitățile sinergice oferite de științele fundamentale, inginerie și medicină au condus în mod constant la găsirea de soluții pentru creșterea calității vieții omului. Creșterea calității vieții pentru persoanele cu handicap este un scop urmărit la nivel mondial. Din acest punct de vedere mecatronică clasică a făcut un pas important spre biomecatronică cu aplicații esențiale în domeniul medical.

Handicap este un termen generic, care acoperă deprecierea unei activități, limitarea unei activități prin dificultatea de execuție a acesteia, restricție de participare la o activitate.

Asistarea persoanelor cu handicap fizic capătă diverse forme de materializare și se regăsește cu aplicabilitate (proteze) - încă de la 1800 î.Hr.

Persoanele cu handicap sunt un rezultat al unui fenomen complex în care deprecierea sau limitarea activității pot fi fizice, cognitive, mentale, senzoriale, emoționale, de dezvoltare, sau o combinație a acestora. Un handicap poate fi prezent de la naștere, sau poate apare pe parcursul vieții unei persoane.

În spatele acestui termen se dezvoltă o serie de probleme suplimentare care influențează viața persoanelor în cauză:

- Studii la nivel mondial sugerează o rată semnificativă (15 – 20 % a persoanelor sărace din țările în curs de dezvoltare) de handicap în rândul persoanelor care trăiesc în sărăcie;
- Persoanele cu dizabilități sunt afectate de dezastre. Handicapul fizic este semnificativ pentru succesul unei operațiuni de salvare în lipsa unei acțiuni energice a echipelor de salvare;
- Discriminare în ocuparea forței de muncă;
- Asigurare;
- Educație.

Eforturile la nivel mondial, pentru crearea unui mediu “prietenos” persoanelor cu handicap, se fac simțite în sport, în crearea unor standarde și norme aplicabile la nivel mondial pentru susținerea acestor persoane.

În spatele acestor eforturi trebuie să se regăsească dezvoltarea acelor sisteme mecatronice care permit înlăturarea / reducerea efectelor problemelor de dizabilități. Robotica pentru reabilitare include: sisteme pentru terapie fizică și antrenament; sisteme pentru asistarea persoanelor cu dizabilități, monitorizare și diagnoză.

Pentru orice tip de dizabilitate există o soluție corespunzătoare: proteze auditive pentru cei cu dizabilități de auz, fotolii rulante, cârje, cadre pentru cei cu dizabilități de mers, bastoane pentru nevăzători, etc. Cu ajutorul acestor sisteme de recuperare majoritatea persoanelor ar trebui să poată participa la orice tip de acțiune fără probleme. Organizația Națiunilor Unite estimează că există 500 de milioane de persoane cu dizabilități în lume la ora actuală. Acest număr este în creștere în fiecare an datorită factorilor negativi precum războiul și puterea de distrugere, condițiile nesănătoase în care trăiesc unele persoane, lipsa informației despre noțiunea de dizabilitate, cauzele și tratamentul de recuperare. Majoritatea persoanelor cu dizabilități trăiesc în țările mai puțin dezvoltate unde nu au acces la servicii esențiale cum ar fi sănătatea.

Laboratoarele de cercetare din universități și institutele de cercetare sunt preocupate de asigurarea unor sisteme mecatronice, care să ofere o șansă reală de integrare în societate a persoanelor cu handicap.

Teza de doctorat intitulată “Contribuții la studiul unui sistem mecatronic pentru recuperarea persoanelor cu dizabilități” și-a propus să realizeze cercetări teoretice și

experimentale în domeniul vast al mecanismelor robot paralele, în particular în domeniul mecanismului robot paralel platforma Stewart.

Prezenta teză de doctorat se încadrează conform *Planului Național de Cercetare, Dezvoltare și Inovare, 2007 - 2013, PN II* pe axa prioritară 1.4 *“Tehnologia informației și comunicații - Inteligență artificială, robotică și sisteme autonome avansate”* subdomeniul 1.4.6 *“Dezvoltarea de sisteme de interacțiune naturală om - calculator minimal dependente de universul discursului”*, de asemenea lucrarea de cercetare urmează și axa prioritară 6.1 *“Biotehnologii”* subdomeniul 6.1.2 *“Elaborarea unor protocoale de diagnostic și tratamente medicale cu impact asupra stării de sănătate și creșterii speranței de viață”*.

Obiectivul principal al tezei de doctorat a constat în analiza unui sistem mecatronic pentru aplicații de recuperare a persoanelor cu dizabilități rezultate din accidente.

Pentru atingerea obiectivului principal au fost urmărite o serie de **obiective operaționale (obiective specifice)**:

- I. Realizarea unei cercetări extinse referitoare la problema abordată;
- II. Realizarea modelului geometric al platformei Stewart;
- III. Efectuarea procesului de sinteză a unui sistem mecatronic destinat recuperării unor dizabilități umane;
- IV. Cercetări experimentale efectuate asupra modulului mecatronic și asupra platformei Stewart în cadrul unui exercițiu de recuperare a membrului superior și inferior uman;

În vederea îndeplinirii acestor obiective a fost necesară întreprinderea următoarelor activități din cadrul planului de cercetare:

1. Prezentarea stadiului actual al traumatismelor la nivelul membrului superior respectiv inferior și modalități de recuperare ale acestora;
2. Prezentarea stadiului actual în domeniul roboților paraleli;
3. Analiza avantajelor, dezavantajelor și aplicabilității roboților paraleli;
4. Realizarea unui studiu comparativ între roboții seriali și cei paraleli;
5. Studiu privind dezvoltarea modelului geometric al platformei Stewart;
6. Realizarea unei modelări cinematice a unui sistem mecanic mobil cu aplicabilitate directă la articulația mâinii umane;
7. Simularea și realizarea practică a unor exerciții de recuperare la nivelul membrului superior și membrului inferior uman.

Prezenta teză de doctorat este structurată pe 7 capitole, urmate de bibliografie și anexe. Teza de doctorat se extinde pe un număr total de 170 de pagini. Dintre acestea un număr de pagini au un caracter conex tezei (pagini alocate pentru copertă, rezumat și cuvânt înainte, cuprinsului tezei, lista tabelor, lista de figuri, CV-ul autoarei, lista de lucrări).

Capitolul 1 – “Introducere” este descris domeniul și direcțiile de cercetare în care se încadrează prezenta teză de doctorat și este evidențiată motivația abordării tematicii alese. În cadrul acestui capitol este prezentat obiectivul principal al tezei și obiectivele operaționale admise. Planul de cercetare stabilit, în baza obiectivelor enunțate, completează acest capitol. Capitolul se încheie cu prezentarea structurii tezei de doctorat.

Capitolul 2 - “Afecțiuni ale membrului superior și inferior uman și modalități de recuperare” prezintă sinteza bibliografică privind tematica tezei de doctorat. Sunt trecute în revistă aspectele biomecanice și traumatismele la nivelul membrului superior și inferior uman. Prezentarea unor tehnici de recuperare funcțională și recuperarea prin utilizarea unor sisteme mecatronice completează acest capitol.

Capitolul 3 intitulat “*Stadiul actual al roboților paraleli cu aplicații în biomecatronică*” a fost definit locul roboților paraleli, ca și variante constructive, în cadrul roboticii în general. Sunt evidențiate cele 3 clase de roboți și variante definitorii pentru fiecare clasă. Este scoasă în evidență platforma Stewart ca și variantă constructivă și aplicabilitate. În cadrul capitolului este prezentată o paralelă robot serial – robot paralel prin prisma unor proprietăți funcționale specifice. Modalitățile de calcul al gradului de mobilitate pentru structuri paralele este exemplificat ca subiect aparte al acestui capitol. Sinteza structurilor paralele și metodele identificate în bibliografie completează acest capitol. Dintre aceste metode de sinteză un loc aparte este atribuit metodei conexiunilor cinematice. Descrierea unui model experimental pentru o platformă Stewart (existentă în cadrul departamentului) și controlul acesteia pe baza mediului LabView face parte integrată din capitolul 3. În finalul acestui capitol sunt prezentate concluziile rezultate prin elaborarea aplicațiilor.

Capitolul 4 – “*Contribuții privind modelul matematic al platformei Stewart*” debutează printr-o introducere în cinematica sistemelor mobile. Se justifică astfel legătura între aplicația de realizat mecanismul – robot paralel și modul de conducere al actuatorilor din dotarea mecanismului. Se prezintă în continuare modelul geometric al platformei Stewart care are ca scop final determinarea expresiilor pentru lungimea actuatorilor liniare preconizate a fi utilizate. Sunt descrise în continuare exerciții pentru recuperare prin evidențierea lanțului cinematic uman care va fi înseriat cu mecanismul robot. Se fac referiri la posibilitățile de interacțiune între lanțul uman și mecanismul paralel. Capitolul cuprinde aspecte de sinteză structurală bazate pe metoda conexiunilor concluzionându-se că mecanismul robot paralel se poate realiza pe baza a șase conexiuni cinematice $K_{B(-1)}$. Modelarea mecanismului – robot în mediul CATIA V5 R19 continuă aspectele de modelare din cadrul capitolului. În final este prezentată modelarea unei mișcări de recuperare evidențiindu-se modul de determinare al lungimii actuatorilor funcție de parametrii constructivi admiși și amplitudinea mișcării din articulația umană supusă exercițiului.

Capitolul 5 – “*Analiza sistemului de acționare pentru mecanismul sintetizat*” face referire la componența modulului mecatronic de acționare, modelarea și simularea funcționării unui actuator liniar. Sunt prezentate modelele matematice ale elementelor componente și respectiv a întregului modul precum și rezultate ale simulărilor în mediul Matlab/Simulink. În cadrul capitolului este evidențiată structura propusă pentru subsistemul de conducere pe baza plăcii de dezvoltare Arduino și a modulului Ardumoto.

Capitolul 6 – “*Cercetări experimentale asupra componentelor și sistemului mecatronic utilizat pentru recuperare*” include rezultatele unor experimente efectuate asupra modulului mecatronic – actuator liniar care confirmă și completează modelele matematice din capitolele anterioare. Rezultatele unor experimente privind funcționalitatea platformei Stewart în cadrul unui exercițiu de recuperare a membrului superior respectiv a membrului inferior vin să valideze în finalul capitolului activitatea de cercetare experimentală.

Capitolul 7 – “*Concluzii finale, contribuții și direcții viitoare de cercetare*” prezintă succint concluziile finale referitoare la rezultatele și la obiectivele propuse, la contribuțiile autoarei prin elaborarea tezei, la diseminarea rezultatelor precum și la direcții viitoare de cercetare în domeniul abordat.

Contribuții personale

Contribuții teoretice:

- Structurarea planului de cercetare, enunțarea obiectivelor specifice și a activităților alocate fiecăruia în parte;
- Realizarea unui studiu cu privire la stadiul actual în domeniul biomecanicii membrului superior și inferior uman pasibile de dizabilități în urma unor accidente;
- Sinteză bibliografică referitoare la mecanismele robot paralel continuată cu analiza aplicativă a metodei conexiunilor cinematice în sinteza unui sistem mecatronic pentru exerciții de recuperare;
- Confirmarea disponibilității mediului de lucru LabVIEW în conducerea unei platforme Stewart experimentale existente în dotarea Departamentului de Mecatronică;
- Dezvoltarea unui model geometric simplu al platformei Stewart care a permis determinarea lungimii elementelor motoare din structura mecanismului robot paralel;
- Enunțarea unui set de exerciții de recuperare a unui lanț cinematic uman tratat în conceptul conexiunilor cinematice;
- Identificarea modului de materializare printr-un actuator liniar a unei conexiuni cinematice $K_{B(-1)}$ confirmând valabilitatea teoriei;
- Modelarea cinematică a unei mișcări de recuperare pentru mâna umană cu deducerea expresiilor modului de variație a lungimii actuatorilor liniare;
- Modelarea modului actuator și simularea funcționării acestuia pentru o mișcare de recuperare pronație supinație a mâinii umane.

Contribuții aplicative:

- Elaborarea unui program de simulare a mișcării în mediul LabVIEW 8.2;
- Elaborarea schemelor de simulare în mediul Matlab/Simulink pentru elementele componente ale modului actuator;
- Dezvoltarea unui stand experimental pentru încercarea și identificarea unor parametri funcționali ai modului actuator;
- Construcția 3D a platformei Stewart în mediul CATIA V5 R19;
- Validarea ipotezelor de lucru privind posibilitatea utilizării unui mecanism robot paralel pentru exerciții de recuperare a membrului superior și inferior uman;
- Dezvoltarea aplicațiilor pe platforma Stewart pentru modelarea și conducerea unor exerciții de recuperare a unui lanț cinematic uman.

Direcții viitoare de cercetare:

Pe baza cercetărilor efectuate se pot estima câteva direcții pentru cercetări viitoare:

- Dezvoltarea unui model experimental cu subsistem de comandă compatibil cu cerințele actuale de reglare a vitezei în cuplele cinematice motoare și conducerea în timp real;
- Integrarea de elemente senzoriale pentru măsurarea interacțiunii platformă – membru uman;
- Dezvoltarea de proceduri specifice fiecărei aplicații de recuperare a unor dizabilități generate de accidente și care necesită o asistență specializată.

Valorificarea rezultatelor cercetării:

Rezultatele cercetărilor efectuate s-au materializat prin publicarea a 6 lucrări, indexate în baze de date internaționale, dintre care 2 în circuitul ISI Proc.

Articole indexate ISI Proc.:

1. **Gorie, N., Dolga, V., Mondoc, A.** (2012). Mathematical models in simulation process in rehabilitation of persons with disabilities, ISI Proc.2012 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences,

ICNPAA 2012, Viena, Austria, ISBN: 978-0-7354-1105-0, vol.1493, 10-14 Iulie, Pag. 424-431.

2. **Mondoc, A., Dolga, V., Gorie, N.** (2012). *Methods in the analysis of mobile robots behavior in unstructured environment*, ISI Proc.2012 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, ICNPAA 2012, Viena, Austria, ISBN: 978-0-7354-1105-0, vol.1493, 10-14 Iulie, Pag. 661-665.

Articole indexate în alte baze de date (Scopus):

1. **Gorie, N., Dolga, V.** (2011). *Biomechatronics Recovery Systems For Persons With Disabilities*, Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, ISSN 1584-5982, Editura AMFOR and INCDMTM, București, România, Nr.40, Septembrie, Pag. 285-289.
2. **Gorie, N., Dolga, V.** (2012). *The Modeling and Simulation of the Stewart's Platform Using LabVIEW*, Romanian Review Precision Mechanics, Optics&Mechatronics, ISSN: 1584-5982, Editura INCDMTM, București, România, Nr.42, Septembrie, Pag. 78-83.

Concluzii finale ale tezei de doctorat:

Prin prezenta teză de doctorat s-a urmărit realizarea unui studiu privind posibilitatea implementării unui mecanism robot - paralel ca și dispozitiv de recuperare în cazul dizabilităților prezente la nivelul membrului superior și inferior uman ca urmare a unor accidente.

Prezentul obiectiv – enunțat în capitolul 1 al tezei – a fost stabilit ca urmare a numărului mare de astfel de situații pe de o parte și de durata relativ ridicată pentru exercițiile de recuperare. În acest mod s-ar oferi un sistem util pentru recuperare și s-ar elibera cadre medicale specializate care ar putea să coordoneze un număr mai mare de pacienți simultan.

Sinteza bibliografică realizată a scos în evidență rolul crescând al mecanismelor robot – paralele în medicină în general și în operații de recuperare în particular.

Platforma Stewart s-a dovedit prin numărul mare de variante existente în bibliografie ca un subiect de interes în continuare. Integrarea unor elemente senzoriale inteligente între lanțul cinematic uman și platforma Stewart lărgeste aria de aplicații posibile. Definită ca fiind un mecanism spațial cu mai multe grade de mobilitate, platforma Stewart se constituie într-un sistem mecatronic destinat atât mediului aplicativ cât și celui academic educativ. Din acest motiv cercetarea teoretică și experimentală a unui astfel de sistem se dovedește utilă.

Pe lângă cele specificate anterior, am ales pentru studiu acest mecanism robot paralel datorită multiplelor avantaje pe care le prezintă:

- Executarea mișcărilor se realizează cu deplasări mici (mișcări fine) cu un înalt grad de precizie dependent de actuatorii utilizate;
- Dinamica acestor sisteme paralele este foarte bună în condițiile unei inerții scăzute;
- Controlul mișcării este simplu;
- Rigiditatea structurii mecanice este ridicată;
- Soluție simplă pentru rezolvarea problemei cinematicii inverse.

Planul de cercetare elaborat a fost structurat astfel încât prin acțiunile prevăzute să răspundă punctual obiectivelor specific enunțate și în final prin aceasta să răspundă obiectivului principal al tezei.

Prin intermediul primelor capitole ale tezei (capitolul 1 și capitolul 2) a fost realizată introducerea în cadrul temei de cercetare. În capitolele următoare am urmărit enunțarea unor

considerente teoretice necesare modelării și simulării proceselor specific stabilite în planul de cercetare (cap. 3, 4 și 5). Ultimul capitol a fost destinat cercetărilor experimentale care au validat ipotezele de lucru.