

# **CONTRIBUȚII PRIVIND AUTOMATIZAREA PROCESULUI DE MANIPULARE A CĂRȚILOR ÎN BIBLIOTECI**

**(*rezumat*)**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul INGINERIE MECANICĂ  
de către

**Ing. Andrei Comșa**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Inocențiu MANIU

Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Doru TALABĂ  
dr.ing. Niels MODLER  
conf.univ.dr.ing. Erwin-Christian LOVASZ

Ziua susținerii tezei: 01.02.2013

## Introducere

Schimbările de mediu socio-culturale din cele mai vechi timpuri au adus multe provocări bibliotecilor, care au avut de înfruntat multe revoluții sociale și istorice. Cea mai mare influență care a schimbat și care v-a schimba modul de lucru în biblioteci este revoluția digitală, prin modul în care sunt definite, organizate și conservate informațiile. Dacă până nu demult bibliotecile conțineau colecții private de texte (cărți, documente, manuscrise), astăzi tendința se îndreaptă către bibliotecile virtuale care conțin informațiile sub formă digitală.

Legătura dinamică dintre bibliotecă și tehnologia informației care este în continuă dezvoltare, impune implementarea de noi funcții și utilizarea de noi echipamente pentru alcătuirea unei infrastructuri solide și viabile (echipamente, interfețe web, etc) capabilă de a media cu alte instituții, rețele, utilizatori, mai exact cu lumea internațională. Bibliotecile moderne conțin materialul tipărit dar și forma electronică a acestora sau permit vizualizarea electronică în timp real a materialului tipărit.

Așa cum invenția tiparului a concentrat funcțiile bibliotecilor pe disponibilizarea informației și nu pe conservarea acesteia, noile tehnologii în informatică, telecomunicații, mecatronică (automatizări, robotică) vor genera transformări importante în structura bibliotecilor punând accent pe conservarea materialului tipărit prin digitizarea acestuia și diseminarea informațiilor.

La ora actuală domeniile de automatizare și cel robotic se află într-un continuu avânt de dezvoltare prin descoperirile permanente la nivel științific cât și printr-o dezvoltare intensă și integrare de noi echipamente și dispozitive tehnologice. Cercetările științifice și domeniul industrial în acest sens sunt foarte avansate de aceea sistemele și procesele de automatizare își extind aplicabilitatea și în cadrul bibliotecilor. De aceea automatizarea este privită în acest moment ca o necesitate și nu ca o opțiune, de către toate bibliotecile. Automatizarea proceselor de bibliotecă (regăsirea și recunoașterea cărților pe rafturi, manipularea automată a cărților în spațiul bibliotecii, scanarea automată a cărților, citirea în timp real a cărților prin scanare) oferă o mulțime de avantaje pentru bibliotecă cât, mai ales, pentru utilizatori deoarece serviciile oferite sunt mult mai prompte și mai adecvate solicitărilor.

Datorită acestor considerente, teza își propune găsirea unei soluții constructive în vederea dezvoltării unui manipulator pentru extragerea automată a cărților din bibliotecă cu un raport complexitate/stabilitate corespunzător. Lucrarea urmărește această tendință în scopul dezvoltării unei tehnologii și îmbunătățirea celei existente încercând găsirea unei soluții viabile și inovative pentru realizarea unui sistem robotic destinat manipulării automate a cărților în bibliotecă.

Prin tema abordată s-a încercat completarea cunoștințelor actuale prin studii teoretice, dezvoltarea unei structuri de robot serial în scopul automatizării procesului de manipulare a cărților în biblioteci care să aibe un aparat matematic simplu și robust iar apoi validarea rezultatelor teoretice prin realizarea unui model experimental funcțional.

Cercetările elaborate în cadrul acestei teze au pornit de la ideea stabilirii unui fundament teoretic legate de de sistemele robotizate destinate automatizării procesului de manipulare a cărților în biblioteci pe baza cărora s-a stabilit o structură de manipulator serial.

Toate activitățile de nivel teoretic au fost ulterior integrate cu cele de proiectare structurală pentru a realiza un model experimental care să valideze studiile de cercetare efectuate.

Modelul experimental este proiectat în așa fel încât să permită extragerea, introducerea, manipularea cărților din raft în spațiul de lucru propus și de a așeza cărțile într-un punct de deservire utilizând un dispozitiv de prehensiune inovativ.

Lucrarea are și un profund caracter interdisciplinar, acoperind un spectru larg de domenii, începând cu fundamente ale mecanicii clasice, ale informaticii, comanda și controlul sistemelor, electronică și utilizând de altfel aspecte de proiectare, tehnologie, execuție, montaj și cercetări experimentale.

Cercetările din cadrul temei au fost susținute printr-un stagiul de cercetare în *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik – ILK* din cadrul *Technische Universität Dresden*, Germania (01.04.2011 - 01.12.2011). În urma acestui stagiul, cercetarea științifică s-a concentrat pe automatizarea manipulării cărților în bibliotecă cât și pe utilizarea materialelor termoplastice ranforsate (care reprezintă principala direcție de cercetare a institutului) în construcția unui bac mobil pentru un dispozitiv de prehensiune.

## **Structura tezei**

Capitolul 1 *Introducere*, prezintă motivația temei de cercetare abordate în contextul dezvoltării bibliotecilor și structura tezei de doctorat. Dezvoltarea tehnologiilor informatice impun automatizarea accesului și a manipulării cărților în biblioteci în vederea deservirii, arhivării respectiv a digitizării informației. Ideea temei a avut ca sursă de inspirație proiectul de cercetare FP7 „DMG-Lib goes European” cu acronimul thinkMOTION, care a avut ca obiectiv digitizarea unor surse heterogene de informații din domeniul sistemelor mecanice mobile și încărcarea acestora în baza de date de tip „open source” Europeană. Se prezintă în continuare structura capitolelor tezei de doctorat.

Capitolul 2 *Stadiul actual al cercetărilor cu privire la automatizarea proceselor de manipulare a cărților în biblioteci* realizează un studiu referitor la tipul de activități din bibliotecile automatizate. Etapele de evoluție a bibliotecilor de la bibliotecile tradiționale, care au cărțile stocate în depozite, la bibliotecile digitale, care utilizează informația sub formă digitală, impun ca etapă intermediară automatizarea accesului și manipulării cărților.

Se evidențiază o serie de activități care se impun a fi automatizate:

- accesul la bazele de date bibliografice cu actualizarea automată, funcție de extragerea/introducerea unei cărți din/în raft,
- automatizarea prelucrării documentelor, înregistrarea utilizatorilor, regăsirea informațiilor dorite de către utilizatori, rezervarea documentelor și prelungirea termenului de împrumut,
- recunoașterea automată a cărților din raft, extragerea/introducerea automată a cărților din/în rafturi, consultarea resurselor bibliografice prin utilizarea formei digitale a acestora, scanarea sau răsfoirea paginilor și vizualizarea acestora în timp real,
- integrarea senzorială a spațiului de depozitare și manipulare a cărților.

Autorul tezei studiază sistemele robotice cu aplicații de recunoaștere, extragere și manipulare a cărților în biblioteci și prezintă elementele componente ale sistemului de manipulare format dintr-o platformă mobilă, braț robotic, unitate de comandă și control și interfața cu utilizatorul. Sunt descrise mai multe exemple de sistemelor robotice utilizate în biblioteci: pentru alimentarea unui

scaner de cărți (Suthakorn), cu identificarea optică a poziției, extragerea și introducerea unor cărți în rafturile bibliotecii (Garijo), cu identificarea prin radio frecvență a poziției cărților în rafturi (Kim), respectiv cu control prin teleoperare utilizând internetul (Tomizawa).

Se descriu metodele de recunoaștere a cărților utilizate de sistemele robotice. Aceste metode pot viza citirea optică a unui cod de bare, vederea artificială și procesarea imaginilor prelevate, respectiv identificarea cu radio frecvență. De asemenea, sunt descrise o serie de dispozitive de prehensiune construite în vederea manipulării și vehiculării cărților în spațiul de lucru deservit în cadrul unei biblioteci. Ultimul subcapitol prezintă tehnicile de deplasare și navigare autonomă și controlată a roboților în spațiul de lucru deservit. Se arată că sistemele robotice autonome prezintă o interacțiune senzorială performantă utilizând ultrasunete, radiații în spectrul infraroșu sau vederea artificială în spațiul de lucru deservit. Sistemele robotice controlate la distanță sunt comandate prin imaginile prelevate în timp real de o cameră video atașată de robot.

În Capitolul 3 *Obiectivele tezei de doctorat* sunt enunțate obiectivele tezei în urma unei analize critice. Au fost formulate patru obiective majore și activități:

1. determinarea cerințelor care se impun unei structuri robotice pentru automatizarea procesului de manipulare a cărților în bibliotecă,
2. dezvoltarea unei structuri de reciprocator și a unui dispozitiv de prehensiune specializat pentru manipularea cărților,
3. realizarea prototipului manipulatorului și încercări experimentale ale acestuia
4. diseminarea rezultatelor.

Capitolul 4 *Dezvoltarea unei structuri de reciprocator* este consacrat dezvoltării unei structuri pentru automatizarea serviciilor de manipulare a cărților în bibliotecă, structură care are la bază un reciprocator format din module de translație pentru asigurarea mișcării. În funcție de dimensiunile spațiului de lucru, se disting două posibile variante constructive ale acestui reciprocator: având o structură dubluportală, respectiv cu structură mixtă portal-consolă. Se prezintă schemele cinematice ale structurilor, soluțiile constructive aferente realizate prin proiectare asistată de calculator, alegerea soluției constructive pentru materializarea modelului experimental din punct de vedere tehnico-economic și descrierea standului experimental realizat al reciprocatorului și a caracteristicilor componentelor mecanice și electronice alese în structura acestuia (profile utilizate în structura mecanică, axele de translație, motoarele reciprocatorului, unitatea de comandă și control).

Capitolul 5 *Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune destinat manipulării cărților* este capitolul cel mai amplu din teza de doctorat. Acest capitol este destinat descrierii etapelor de analiză, sinteză structurală, proiectare asistată de calculator și de realizare a unui model experimental de dispozitiv de prehensiune dedicat manipulării cărților în bibliotecă. Se prezintă mai multe soluții constructive de realizare a dispozitivului de prehensiune: utilizând bacuri cu perne de aer în vederea prehensiunii cărților, utilizând un mecanism cu șurub-piuliță pentru acționarea bacului mobil (ghidarea fiind realizată cu un ajutorul unui mecanism cu bare) al dispozitivului de prehensiune, respectiv un mecanism cu conexiuni elastice având componenta rigidă solidarizată cu bacul mobil și acționare cu ajutorul unui element de tip fir. În urma analizei avantajelor și dezavantajelor se alege soluția dispozitivului de prehensiune care utilizează conexiuni elastice în structura mecanismului de acționare a bacului mobil al

dispozitivului de prehensiune în scopul simplificării mecanismului de închidere a bacurilor și reducerii masei dispozitivului de prehensiune. Pentru construcția bacului mobil cu conexiuni elastice s-a utilizat un material compozit termoplastice ranforsat cu fibre textile.

Se dezvoltă analiza și sinteza structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice în sensul definirii conexiunii elastice, a gradului de libertate și a gradului de mobilitate în corelație cu teoria clasică a mecanismelor, care consideră elementele ca fiind corpuri rigide. Desmodromia mecanismelor cu conexiuni elastice este determinată prin utilizarea ecuației de desmodromie, a curbelor suport și în funcție de condițiile cinetostatice. Toate aceste metode consideră că mecanismul funcționează în condiții cinetostatice identice. Pentru aceste metode sunt prezentate mai multe exemple de aplicare a metodelor descrise. În teza de doctorat este prezentată sinteza structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice pentru cazurile mecanismelor care conțin o conexiune elastică ( $K_A$ ), și două elemente rigide, o conexiune elastică ( $K_B$ ), și un element rigid, respectiv o conexiune elastică ( $K_C$ ) și o cuplă cinematică sau nici o cuplă cinematică.

În continuare este descrisă analiza cinetostatică aferentă fazelor de manipulare a unei cărți de pe raft și este descris modelul CAD și modelul experimental al dispozitivului de prehensiune proiectat. Pentru a evidenția deplasarea bacului mobil al mecanismului cu conexiuni elastice au fost realizate încercări experimentale prin fotogrammetrie, care au permis determinarea caracteristicilor forță de acționare a dispozitivului de prehensiune în funcție de deplasarea bacului mobil în lungul axei Y și deplasarea bacului mobil în lungul axei Z în funcție de deplasarea bacului mobil în lungul axei Y. Pentru confirmarea rezultatelor experimentale a fost elaborată o metodă de calcul analitic a mecanismului cu conexiuni elastice, care conduce la rezolvarea unui sistem neliniar de 12 ecuații cu 12 necunoscute. Sistemul fiind foarte complicat de soluționat, s-a utilizat programul Ansys de analiză a stării de deformare (deplasare) cu elemente finite. Rezultatele analizei cu elemente finite confirmă rezultatele experimentale.

Capitolul 6 *Realizarea prototipului manipulatorului și încercări experimentale ale acestuia* debutează cu descrierea unui algoritm de determinare a gradului de dezordine a cărților în bibliotecă, care impune o construcție specială a raftului, cu locașuri de diferite grosimi, delimitate mecanic, pentru obținerea unui interstițiu între cărți, necesar poziționării acestora. Doctorandul prezintă modelul experimental propus utilizând reciprocatorul și dispozitivul de prehensiune dezvoltat, care au fost prezentate amănunțit în capitolele anterioare. Sunt descrise observațiile rezultate în urma studiilor experimentale pentru fazele manipularii cărților în vederea extragerii din raft și de așezare a cărților într-un spațiu de depozitare a acestora. În vederea reducerii frecării dintre suprafața laterală inferioară a cărții și suprafața inferioară a raftului s-a conceput un modul care utilizează un mușchi pneumatic care permite ridicarea cărții în faza de extragere a acesteia din locaș. Doctorandul verifică experimental eroarea de poziționare în lungul axei Y pentru trei categorii de curse ale căruciorului: deplasări pe curse scurte, deplasări pe curse medii și deplasări pe curse lungi. Erorile maxime de poziționare se încadrează în domeniul erorilor de repetabilitate prescrise de producătorul axelor de translație.

Capitolul 7 *Concluzii finale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare*, se sintetizează contribuțiile și concluziile în cadrul tezei de doctorat.

## **Concluzii finale și contribuții personale**

Studiul inițial asupra stadiului actual al cercetărilor cu privire la automatizarea proceselor de manipulare a cărților în biblioteci au scos în evidență tendințele actuale de cercetare, necesitatea, avantajele și anumite limitări care intervin în acest context.

Pornind de la acest studiu bibliografic, lucrarea de față și-a propus ca obiectiv central aducerea de contribuții în domeniul automatizării procesului de manipulare a cărților.

Teza este rezultatul unei colaborări și cooperări deosebite între *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik* (ILK) din cadrul Universității Tehnice Dresda (Germania) și Departamentul de Mecatronică al Universității „Politehnica” Timișoara, din care autorul face parte. În urma stagiului de cercetare a autorului la acest institut, proiectarea și construcția manipulatorului a fost orientată spre utilizarea materialelor compozite în fabricarea unor componente mecanice, în vederea reducerii maselor în mișcare (eng.: *lightweight design*).

În urma studiului bibliografic, al proiectului thinkMotion și a direcției de cercetare rezultate în urma stagiului, s-a dorit dezvoltarea unui model experimental robust și compact, având la bază o structură serială simplă (pentru construcția reciprocatorului) și conexiuni elastice în cadrul mekansimului de acționare a unuia din bacurile dispozitivului de prehensiune, în scopul unei proiectări constructive simple și a reducerii numărului componentelor mecanice. Manipulatorul dezvoltat este ușor de controlat și sigur în exploatare. Teza reprezintă o simbioză între cercetarea teoretică și cea aplicativă, demonstrând importanța integrării principiilor teoretice în realizarea unui model experimental viabil.

Lucrarea prezintă toate etapele realizării modelului experimental dedicat aplicației prezentate în teză, începând de la schemele cinematice ale variantelor constructive propuse, proiectare asistată de calculator, sinteza structurală a mecanismelor cu element elastic, analiză comparativă experimentală (analiză digitală prin fotogrammetrie) și virtuală (analiză cu element finit) a deplasărilor bacului mobil al dispozitivului de prehensiune (ce include conexiuni elastice), până la realizarea unui model experimental viabil ce asigură îndeplinirea scopului propus al tezei.

Cu alte cuvinte, *obiectivul principal al tezei* a constat în automatizarea procesului de manipulare a cărților, utilizând un dispozitiv de prehensiune a cărei mișcare de închidere a bacurilor este realizată cu ajutorul unui mecanism cu conexiuni elastice, realizat din material compozit.

În conformitate cu obiectivele propuse, a cercetărilor efectuate și a rezultatelor obținute pe parcursul tezei de doctorat, autorul a adus următoarele **contribuții personale** la dezvoltarea unui sistem automat de manipulare a cărților în biblioteci:

- prezentarea unei sinteze bibliografice care tratează stadiul actual al cercetărilor cu privire la automatizarea proceselor de manipulare a cărților în biblioteci,
- proiectarea CAD a două variante constructive de reciprocator adaptate cerințelor specifice din biblioteci și identificarea variantei constructive optime din punct de vedere tehnic și economic,
- dezvoltarea unei structuri de reciprocator specializat destinat manipulării cărților într-un spațiu de lucru paralelipedic (plan de lucru) și deservirii acestora din rafturile depozitelor din biblioteci,
- realizarea analizei structurale a mecanismelor cu conexiuni elastice,

- dezvoltarea relației de calcul a gradului de libertate, gradului de mobilitate pentru cazul mecanismelor cu conexiuni elastice,
- sinteza structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice pentru cazurile mecanismelor care conțin o conexiune elastică ( $K_A$ ), și două elemente rigide, o conexiune elastică ( $K_B$ ), și un element rigid, respectiv o conexiune elastică ( $K_C$ ) și o cuplă cinematică sau nici o cuplă cinematică,
- propunerea unei metode de analiză a deplasărilor bacului mobil al dispozitivului de prehensiune, care materializează o bielă (componenta rigidă) a unui mecanism patrulater cu conexiuni elastice,
- studiul soluțiilor constructive de dispozitive de prehensiune specializate pentru manipularea cărților și identificarea variantei constructive optime din punct de vedere al dinamicii manipulatorului,
- realizarea unei analize cinetostatice a dispozitivului de prehensiune în funcție de fazele de manipulare a cărților de pe un raft de bibliotecă,
- proiectarea CAD a soluției constructive alese pentru dispozitivul de prehensiune, ținând cont de restricțiile tehnologice de fabricație a acestuia din materiale compozite termoplastice ranforsate cu fibre textile,
- dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune dedicat care conține un mecanism de acționare a bacului mobil cu conexiuni elastice realizat din materiale compozite termoplastice ranforsate cu fibră textilă,
- studiul experimental al deplasărilor bacului mobil al dispozitivului de prehensiune bazat pe măsurarea digitală prin fotogrammetrie,
- determinarea forței motoare necesare pentru deplasarea impusă mecanismului cu conexiunii elastice prin metoda elementului finit (FEM),
- compararea rezultatelor obținute în urma celor două analize și confirmarea soluției alese pentru dispozitivului de prehensiune,
- realizarea unei interfețe grafice în mediul de programare Visual Basic pentru comanda și controlul manipulatorului și al dispozitivului de prehensiune,
- construcția unui raft care permite așezarea cărților după diverse grosimi în locașuri delimitate mecanic, pe baza observațiilor rezultate din multiple încercări experimentale cu manipulatorul echipat cu dispozitivului de prehensiune dezvoltat și a dimensiunilor spațiului de lucru deservit,
- în vederea reducerii frecării dintre suprafața laterală inferioară a cărții și suprafața inferioară a raftului s-a conceput un modul care utilizează un mușchi pneumatic care permite ridicarea cărții în faza de extragere a acesteia din locaș,
- studiul factorilor care influențează prehensarea optimă a cărților din raftul construit și descrierea fazelor de manipulare a unei cărți din locașurile raftului într-un spațiu de depozitare,
- determinări experimentale ale erorii de poziționare pentru diferite categorii de curse ale manipulatorului,
- asigurarea unei structuri mecanice și a unei interfețe de comandă care să permită un grad ridicat de versatilitate, existând posibilități diverse de testare experimentală a sistemului și integrare în final într-un ciclu de operații specifice bibliotecii.