

**ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ**

**Facultatea: Inginerie Mecanică**

**Ing. Corina Monica RADU (POP)**

**CERCETĂRI PRIVIND INFORMATIZAREA PROCESELOR ŞI  
ROBOTIZAREA ACTIVITĂŢILOR DE MANIPULARE ŞI TRANSPORT  
DIN BIBLIOTECI PUBLICE**

**RESEARCHES ON PROCESS AUTOMATION AND ROBOTIZATION  
OF HANDLING AND TRANSPORT TASKS IN PUBLIC LIBRARIES**

**REZUMAT / ABSTRACT**

**Conducător ştiinţific**

**Prof. dr. ing. Gheorghe-Leonte MOGAN**

**BRAŞOV, 2019**



D-lui (D-nei) .....

## COMPONENȚA

### Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. .... din .....

PREȘEDINTE: Prof. dr. ing. Adrian ȘOICA  
Universitatea *Transilvania* din Braşov

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: Prof. dr. ing. Gheorghe-Leonte MOGAN  
Universitatea *Transilvania* din Braşov

REFERENȚI: Prof. dr. ing. Cristian-Vasile DOICIN  
Universitatea Politehnica din București

Prof. dr. ing. Dorian COJOCARU  
Universitatea din Craiova

Prof. dr. ing. Csaba ANTONYA  
Universitatea *Transilvania* din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: 31.01.2020, ora 11.30, sala NP 7.

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa [popcorina@unitbv.ro](mailto:popcorina@unitbv.ro)

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

## CUPRINS (lb. română)

	Pg. teza	Pg. rezumat
<b>PREFAȚĂ</b> .....	11	-
<b>LISTA FIGURILOR</b> .....	13	-
<b>LISTA TABELELOR</b> .....	19	-
<b>LISTA ABREVIERILOR</b> .....	21	15
<b>1. INTRODUCERE</b> .....	25	17
1.1 Aspecte generale .....	25	17
1.2 Necesitatea și justificarea temei .....	25	17
1.3 Scopul și obiectivele cercetării .....	26	18
1.4 Metodologia și etapele cercetării .....	27	18
1.5 Structura și conținutul tezei .....	28	19
<b>2. STUDII, CERCETĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI REALIZĂRI PRIVIND UTILIZAREA TEHNOLOGIILOR ȘI SISTEMELOR IT ȘI ROBOTIZATE ÎN BIBLIOTECILE UNIVERSITARE. STADIUL ACTUAL</b> .....	31	21
2.1 Introducere .....	31	21
2.2 Managementul și logistica serviciilor din biblioteci .....	32	21
2.2.1 Rolul, misiunea, obiectivele și funcțiile .....	32	21
2.2.2 Model strategic general de dezvoltare a bibliotecilor universitare .....	34	-
2.2.3 Logistica și promovarea serviciilor bibliotecilor .....	34	23
2.3 Digitizarea documentelor și informatizarea activităților de comunicare și documentare .....	36	23
2.3.1 Digitizarea colecțiilor din biblioteci .....	36	-
2.3.2 Informatizarea activităților de comunicare și documentare .....	38	23
2.4 Sisteme informatice bazate pe tehnologia RFID implementate în biblioteci .....	39	24
2.4.1 Aspecte generale .....	39	24
2.4.2 Tehnologia RFID .....	40	24
2.4.3 Structura generală a sistemelor informatice RFID pentru biblioteci .....	42	26
2.4.4 Caracteristicile sistemelor informatice RFID .....	43	-
2.4.5 Activități specifice realizate de sistemele RFID din bibliotecile universitare .....	44	-
2.5 Sisteme informatice implementate în bibliotecile universitare din Romania .....	47	-



2.6	Sisteme informatice implementate în Biblioteca Universităţii <i>Transilvania</i> din Braşov .....	49	27
2.6.1	Sistemul informatic Liberty .....	49	-
2.6.2	Sistemul informatic bazat pe tehnologia RFID .....	50	27
2.6.2.1	Definirea problemei .....	50	27
2.6.2.2	Etapile implementării sistemului RFID .....	51	28
2.6.2.3	Rezultate obţinute .....	52	-
2.7	Tendenţe şi perspective în dezvoltarea şi implementarea sistemelor informatice în bibliotecile universitare .....	52	-
2.8	Sisteme automate şi robotizate de manipulare şi transport din biblioteci .....	54	29
2.8.1	Automatizarea activităţilor din biblioteci .....	54	29
2.8.1.1	Sisteme automate pentru depozitarea cărţilor .....	54	-
2.8.1.2	Sisteme automate de depozitare pe rafturi mobile .....	55	-
2.8.1.3	Sisteme automate de stocare şi regăsire .....	56	-
2.8.1.4	Sisteme automate pentru manplarea materialelor de informare şi documentare în biblioteci şi arhive .....	57	-
2.8.1.4.1	Biblioteca Universităţii din Bergen, Norvegia .....	57	-
2.8.1.4.2	Arhivele Municipale din Bergen .....	58	-
2.8.2	Robotizarea activităţilor din biblioteci .....	59	29
2.8.3	Identificarea cărţilor în biblioteci cu sisteme automate/robotizate .....	61	31
2.8.4	Manipularea şi transportul cărţilor cu sisteme automate/robotizate .....	63	32
2.9	Concluzii .....	64	33
<b>3.</b>	<b>ROBOTI MOBILI PENTRU SERVICII ÎN BIBLIOTECI</b> .....	<b>67</b>	<b>35</b>
3.1	Aspecte generale .....	67	35
3.2	Tipuri, funcţii, aplicaţii ale roboţilor mobili de servicii .....	68	35
3.3	Structurile roboţilor mobili de servicii .....	73	37
3.3.1	Structura generală a roboţilor mobili de servicii .....	73	37
3.3.2	Structuri ale platformelor mobile cu roţi .....	75	38
3.3.3	Sisteme senzoriale ale roboţilor mobili de servicii .....	76	38
3.3.4	Sisteme de comandă şi control ale roboţilor mobili de servicii .....	78	-
3.4	Modelarea şi planificarea traiectoriilor de navigare/manipulare ale roboţilor mobili de servicii .....	80	39
3.4.1	Modelarea cinematică şi planificarea traiectoriilor platformelor mobile cu roţi diferenţiale .....	80	39
3.4.1.1	Modelarea cinematică a platformelor cu roţi diferenţiale .....	80	-
3.4.1.2	Planificarea traiectoriilor de navigare .....	83	-



3.4.1.3 Navigarea platformelor cu roţi pe traiectorie .....	85	39
3.4.2 Modelarea cinematică a manipuloarelor roboţilor mobili cu platforme cu roţi diferenţiale .....	86	40
3.4.2.1 Modelarea geometrică .....	87	40
3.4.2.2 Modelarea cinematică .....	88	41
3.4.2.3 Urmărirea traiectoriilor de manipulare .....	88	-
3.5 Descrierea, modelarea şi recunoaşterea mediului de lucru .....	89	42
3.5.1 Recunoaşterea mediului prin sisteme vision .....	89	42
3.5.2 Modelarea şi recunoaşterea mediilor de lucru prin sisteme nonvision .....	90	43
3.5.2.1 Cartografierea mediilor de lucru (generarea hărţilor) şi planificarea traseelor .....	91	-
3.5.2.2 Localizarea robotului .....	92	-
3.6 Roboţi obili inteligenţi pentru servicii .....	93	43
3.6.1 Roboţi mobili cu autonomie totală .....	93	43
3.6.2 Roboţi mobili cognitivi cu arhitecturi de conducere distribuite .....	93	44
3.7 Alegerea roboţilor mobili pentru servicii în biblioteci .....	95	45
3.8 Concluzii .....	97	43
<b>4. MODELAREA ŞI PROIECTAREA PROCESELOR DE PREHENSIUNE ŞI MANIPULARE ROBOTIZATĂ A CĂRŢILOR .....</b>	<b>99</b>	<b>47</b>
4.1 Introducere .....	99	47
4.2 Manipularea şi transportul robotizat a obiectelor solide .....	100	55
4.2.1 Manipularea robotizată a obiectelor solide .....	101	-
4.2.2 Transportul automatizat/robotizat al obiectelor solid .....	102	-
4.2.3 Concepţia şi proiectarea sistemelor de manipulare şi transport robotizat ...	103	-
4.2.3.1 Definirea problemei .....	103	-
4.2.3.2 Principiile concepţiei şi proiectării sistemelor de manipulare/transport robotizat .....	104	-
4.2.3.3 Principiile concepţiei, proiectării sau alegerii sistemelor de manipulare/transport pentru servicii în biblioteci .....	105	-
4.3 Prehensiunea obiectelor solide .....	106	48
4.3.1 Funcţiile şi tipurile dispozitivelor de prehensiune .....	107	-
4.3.2 Caracteristicile şi performanţele dispozitivelor de prehensiune .....	111	48
4.4 Structuri constructive ale dispozitivelor de prehensiune .....	113	49
4.5 Dispozitive de prehensiune pentru cărţi şi materiale de informare .....	114	50
4.5.1 Descrierea obiectelor de prehensat în biblioteci .....	114	-
4.5.2 Dispozitive de prehensiune a obiectelor în biblioteci .....	117	50



4.5.2.1 Dispozitive de prehensiune cu bacuri paralele .....	117	50
4.5.2.2 Dipozitive de prehensiune de tip mâini mecanice .....	119	50
4.5.2.3 Dispozitive de prehensiune inteligente .....	120	51
4.6 Modelarea prehensiunii cărţilor .....	121	51
4.6.1 Modelarea contactelor prehensor-carte .....	122	52
4.6.2 Modelarea prehensiunii cărţilor .....	125	55
4.6.2.1 Modelarea prehensiunii cu două bacuri/degete .....	125	55
4.6.2.2 Modelarea prehensiunii cu trei degete .....	126	56
4.7 Etapele prehensiunii cărţilor .....	128	57
4.8 Alegerea dispozitivelor de prehensiune pentru manipularea cărţilor şi/sau documentelor de informare .....	128	57
4.9 Concluzii .....	130	58
<b>5. SISTEM ROBOTIZAT PENTRU SERVICII ÎN BIBLIOTECI (SROSIB) .....</b>	<b>133</b>	<b>59</b>
5.1 Introducere .....	133	59
5.2 Structura generală şi funcţionarea SROSIB .....	133	59
5.3 Descrierea mediului de informare/documentare .....	134	60
5.4 Structura hardware .....	135	61
5.4.1 Robotul mobil de informare şi manipulare (RIM) .....	135	61
5.4.1.1 Structura generală .....	135	61
5.4.1.2 Platforma mobilă P3-AT .....	136	-
5.4.1.2.1 Subsistemul de acţionare .....	136	-
5.4.1.2.2 Subsistemul de senzorial .....	136	-
5.4.1.2.3 Subsistemul de control şi comandă .....	137	-
5.4.1.3 Braţul de manipulare .....	139	62
5.4.1.4 Echipamente auxiliare montate pe platforma mobilă .....	139	-
5.4.2 Robotul mobil de transport şi manipulare (RTM) .....	141	62
5.4.3 Sistemul de control şi comandă supervisor .....	143	64
5.4.4 Sistemul de comunicaţii .....	145	65
5.4.4.1 Comunicaţii calculator-robot .....	145	-
5.4.4.2 Comunicaţii robot-senzori RFID .....	146	-
5.4.4.3 Configurarea SROSIB pentru funcţionarea în reţea .....	147	-
5.5 Structura software .....	148	66
5.5.1 Stuctura generală a pachetului software .....	148	66
5.5.2 Algoritmi şi programe de recunoaştere şi interacţiune cu utilizatorul .....	148	66
5.5.3 Algoritmi şi programe pentru RIM şi RTM .....	149	67
5.5.3.1 Algoritmi de control şi comandă .....	149	67



5.5.3.2 Algoritmi de localizare și navigare .....	150	68
5.5.4 Algoritmi și programe de gestiune a publicațiilor .....	153	-
5.5.5 Algoritmi și module program pentru sistemul vision .....	155	69
5.5.5.1 Pachete software utilizate .....	155	69
5.5.5.2 Algorim de detecție și autentificare a utilizatorilor .....	155	-
5.5.5.3 Descrierea metodei și algoritmului pentru detecția și recunoașterea feței utilizatorului .....	156	69
5.5.5.3.1 Detectrea feței cu ajutorul clasificatorului cascadă Haar .....	158	-
5.5.5.3.2 Recunoașterea feței .....	159	-
5.5.5.4 Descrierea metodei și algoritmilor pentru detecția și recunoașterea cărților .....	160	70
5.5.5.4.1 Extragerea caracteristicilor cărților cu ajutorul algoritmului SURF.....	160	70
5.5.5.4.2 Recunoașterea cărților .....	161	70
5.6 Concluzii .....	166	73
<b>6. APLICAȚII, SIMULARI ȘI STUDII EXPERIMENTALE</b> .....	169	75
6.1 Programarea testelor și experimentelor .....	169	75
6.2 Simulări și teste experimentale de navigare a RIM/RTM .....	170	75
6.2.1 Analiza și interpretarea rezultatelor experimentale de navigare .....	176	80
6.3 Teste experimentale de detecție și recunoaștere a feței .....	178	81
6.3.1 Implementarea aplicației de detecție și recunoaștere a feței .....	178	-
6.3.2 Rezultatele testelor experimentale .....	181	81
6.4 Teste experimentale de detecție și recunoaștere a cărților .....	182	82
6.4.1 Implementarea aplicației de detecție și recunoaștere a cărților .....	182	-
6.4.2 Rezultatele testelor experimentale.....	184	82
6.5 Studii experimentale privind prehensiunea și manipularea documentelor/cărților .....	185	83
6.5.1 Teste experimentale de prehensiune a cărților .....	185	83
6.5.1.1 Instalația și programul de testare .....	185	83
6.5.1.2 Analiza și interpretarea rezultatelor .....	187	85
6.5.2 Teste experimentale de manipulare a documentelor/cărților .....	191	88
6.5.2.1 Planificarea testelor .....	191	88
6.5.2.2 Realizarea experimentelor de manipulare și transport .....	192	89
6.5.2.3 Analiza și interpretarea rezultatelor de manipulare .....	193	90
6.6 Experimente privind interacțiunea SROSIB cu utilizatorii .....	194	90



6.6.1 Implementarea interfeţei grafice cu utilizatorul .....	194	90
6.6.2 Testare şi validare .....	197	90
6.7 Concluzii .....	199	92
<b>7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUŢII ORIGINALE, VALORIFICAREA REZULTATELOR ŞI DIRECŢII NOI DE CERCETARE .....</b>	<b>203</b>	<b>95</b>
7.1 Concluzii finale .....	203	95
7.2 Contribuţii originale .....	205	97
7.3 Valorificarea rezultatelor cercetării .....	206	98
7.3.1 Lucrări publicate .....	206	98
7.3.2 Participări la conferinţe .....	207	99
7.3.3 Participări la contracte de cercetare şi dezvoltare .....	208	100
7.4 Direcţii noi de cercetare .....	208	100
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>209</b>	<b>101</b>
<b>ANEXE .....</b>	<b>229</b>	<b>-</b>
Anexa 1. Codul sursă pentru conectare la robotul RMI .....	229	-
Anexa 2. Codul sursă asociat algoritmului de deplasare .....	230	-
Anexa 3. Codul sursă asociat algoritmului de detectare a feţei .....	232	-
Anexa 4. Codul sursă pentru comanda RIM .....	235	-
Anexa 5. Codul sursă asociat algoritmului de recunoaştere a cărţii .....	238	-
Anexa 6. Codul sursă pentru comanda şi control RTM .....	249	-
Anexa 7. Elemente semantice în limbaj HTML 5, reguli CSS 3 şi JavaScript .....	252	-
Anexa 8. Chestionar privind utilizabilitatea interfeţei web Infolibrary .....	255	-
<b>REZUMAT .....</b>	<b>256</b>	<b>110</b>
<b>CV romană .....</b>	<b>257</b>	<b>111</b>
<b>CV engleză .....</b>	<b>258</b>	<b>112</b>
<b>DECLARAŢIE DE AUTENTICITATE .....</b>	<b>259</b>	<b>-</b>



## CUPRINS (lb. engleză)

	Pg. teza	Pg. rezumat
<b>PREFACE</b> .....	11	-
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	13	-
<b>LIST OF TABLES</b> .....	19	-
<b>LIST OF ABBREVIATIONS</b> .....	21	15
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	25	17
1.1 General Aspects .....	25	17
1.2 Necessity and justification of the theme .....	25	17
1.3 The purpose and objectives of the research .....	26	18
1.4 Research methodology and stages .....	27	18
1.5 Structure and content of the thesis .....	28	19
<b>2. STUDIES, SCIENTIFIC RESEARCH AND ACHIEVEMENTS BY USING THE IT TECHNOLOGIES AND ROBOTIZED SYSTEMS IN UNIVERSITY LIBRARIES. CURRENT STAGE</b> .....	31	21
2.1 Introduction .....	31	21
2.2 Management and logistics of library services .....	32	21
2.2.1 Role, mission, goals and functions .....	32	21
2.2.2 General strategic model for the development of university libraries .....	34	-
2.2.3 Logistics and promotion of library services .....	34	23
2.3 Digitization of documents and computerization of communication and documentation activities .....	36	23
2.3.1 Digitizing library collections .....	36	-
2.3.2 Computerization of communication and documentation activities .....	38	23
2.4 Information systems based on RFID technology implemented in libraries .....	39	24
2.4.1 General aspects .....	39	24
2.4.2 RFID Technology .....	40	24
2.4.3 General structure of RFID information systems for libraries .....	42	26
2.4.4 The characteristics of RFID information systems .....	43	-
2.4.5 Specific activities carried out by RFID systems in university libraries .....	44	-
2.5 Information systems implemented in the university libraries in Romania .....	47	-
2.6 Information systems implemented in the Library of the Transilvania University of Brasov .....	49	27



2.6.1 Liberty software system .....	49	-
2.6.2 The computer system based on RFID technology .....	50	27
2.6.2.1 Defining the problem .....	50	27
2.6.2.2 Stages of RFID system implementation .....	51	28
2.6.2.3 The results of researches .....	52	-
2.7 Trends and perspectives in the development and implementation of computer systems in university libraries .....	52	-
2.8 Automated and robotic systems for handling and transport in libraries .....	54	29
2.8.1 Automation of library activities .....	54	29
2.8.1.1 Automatic book storage systems .....	54	-
2.8.1.2 Automatic storage systems on mobile shelves .....	55	-
2.8.1.3 Automatic storage and retrieval systems .....	56	-
2.8.1.4 Automatic systems for handling information materials and documentation in libraries and archives .....	57	-
2.8.1.4.1 University Library of Bergen, Norway .....	57	-
2.8.1.4.2 Bergen Municipal Archives .....	58	-
2.8.2 Robotizing library activities .....	59	29
2.8.3 Identification of books in libraries with automated / robotic systems .....	61	31
2.8.4 Handling and transport of books using automated / robotic systems .....	63	32
2.9 Conclusions .....	64	33
<b>3. MOBILE ROBOTS FOR LIBRARY SERVICES .....</b>	<b>67</b>	<b>35</b>
3.1 General Aspects .....	67	35
3.2 Types, functions, applications of mobile service robots .....	68	35
3.3 The structures of mobile service robots .....	73	37
3.3.1 The general structure of mobile service robots .....	73	37
3.3.2 Structures of mobile platforms on wheels .....	75	38
3.3.3 Sensory systems of mobile service robots .....	76	38
3.3.4 Command and control systems of mobile service robots .....	78	-
3.4 Modeling and planning of navigation / handling trajectories of mobile service robots .....	80	39
3.4.1 Kinematic modeling and trajectory planning of mobile platforms with differential wheels .....	80	39
3.4.1.1 Kinematic modeling of platforms with differential wheels .....	80	-
3.4.1.2 Navigation trajectory planning .....	83	-
3.4.1.3 Navigating the wheeled platforms on the track .....	85	39



3.4.2 Kinematic modeling of mobile robot manipulators with platforms	86	40
differential wheels .....		
3.4.2.1 Geometric modeling .....	87	40
3.4.2.2 Kinematic modeling .....	88	41
3.4.2.3 Tracking the handling paths .....	88	-
3.5 Description, modeling and recognition of the working environment .....	89	42
3.5.1 Environmental recognition through vision systems .....	89	42
3.5.2 Modeling and recognition of work environments through nonvision	90	43
systems .....		
3.5.2.1 Mapping working environments (generating maps) and planning		
routes .....	91	-
3.5.2.2 Location of the robot .....	92	-
3.6 Intelligent mobile robots for services .....	93	43
3.6.1 Mobile robots with full autonomy .....	93	43
3.6.2 Cognitive mobile robots with distributed management architectures .....	93	44
3.7 Choosing mobile robots for library services .....	95	45
3.8 Conclusions .....	97	43
<b>4. MODELING AND DESIGNING PREHENSION PROCESSES AND</b>		
<b>    ROBOTIZED HANDLING OF BOOKS .....</b>	<b>99</b>	<b>47</b>
4.1 Introduction .....	99	47
4.2 Robotic handling and transport of solid objects .....	100	55
4.2.1 Robotic manipulation of solid objects .....	101	-
4.2.2 Automated / robotic transport of solid objects .....	102	-
4.2.3 Design and design of robotic handling and transport systems .....	103	-
4.2.3.1 Defining the problem .....	103	-
4.2.3.2 Principles of design and design of handling / transport systems		
robot .....	104	-
4.2.3.3 Principles of design, design or choice of handling / transport		
systems for library services .....	105	-
4.3 Prehension of solid objects .....	106	48
4.3.1 Functions and types of prehension devices .....	107	-
4.3.2 Features and performance of the prehension devices .....	111	48
4.4 Constructive structures of the prehension devices .....	113	49
4.5 Prehension devices for books and information materials .....	114	50
4.5.1 Description of prehensile objects in libraries .....	114	-
4.5.2 Devices for object prehension in libraries .....	117	50



4.5.2.1 Prehension devices with parallel bins .....	117	50
4.5.2.2 Prehension devices of mechanical hand type .....	119	50
4.5.2.3 Smart prehension devices.....	120	51
4.6 Modeling book prehension .....	121	51
4.6.1 Modeling the prehensor-book contacts .....	122	52
4.6.2 Modeling book prehension .....	125	55
4.6.2.1 Modeling the prehension with two grippers/fingers .....	125	55
4.6.2.2 Modeling of three-finger prehension .....	126	56
4.7 The stages of book prehension .....	128	57
4.8 Choice of prehensioning devices for manipulating books and / or information documents .....	128	57
4.9 Conclusions .....	130	58
<b>5. ROBOTIZED SYSTEM FOR LIBRARY SERVICES (SROSIB) .....</b>	<b>133</b>	<b>59</b>
5.1 Introduction .....	133	59
5.2 General structure and operation of SROSIB .....	133	59
5.3 Description of the information / documentation environment .....	134	60
5.4 Hardware structure .....	135	61
5.4.1 Mobile information and handling robot (RIM) .....	135	61
5.4.1.1 General structure .....	135	61
5.4.1.2 P3-AT mobile platform .....	136	-
5.4.1.2.1 The drive subsystem .....	136	-
5.4.1.2.2 The sensory subsystem .....	136	-
5.4.1.2.3 Control and command subsystem .....	137	-
5.4.1.3 The handling arm .....	139	62
5.4.1.4 Auxiliary equipment mounted on the mobile platform .....	139	-
5.4.2 Mobile transport and handling robot (RTM) .....	141	62
5.4.3 Supervisor control and control system .....	143	64
5.4.4 The communications system .....	145	65
5.4.4.1 Computer-robot communications .....	145	-
5.4.4.2 RFID robot-sensor communications .....	146	-
5.4.4.3 Configuring SROSIB for network operation .....	147	-
5.5 Software structure .....	148	66
5.5.1 General structure of the software package .....	148	66
5.5.2 Algorithms and programs for user recognition and interaction .....	148	66
5.5.3 Algorithms and programs for RIM and RTM .....	149	67
5.5.3.1 Control and command algorithms .....	149	67



5.5.3.2 Location and navigation algorithms.....	150	68
5.5.4 Algorithms and programs for document management.....	153	-
5.5.5 Algorithms and program modules for the vision system.....	155	69
5.5.5.1 Software packages used.....	155	69
5.5.5.2 User detection and authentication algorithm.....	155	-
5.5.5.3 Description of the method and algorithm for detection and recognition of the user face .....	156	69
5.5.5.3.1 Face detection using the Haar cascade classifier .....	158	-
5.5.5.3.2 Face recognition .....	159	-
5.5.5.4 Description of the method and algorithms for detection and detection book recognition .....	160	70
5.5.5.4.1 Extracting the features of the books usingthe SURF algorithm .....	160	70
5.5.5.4.2 Recognition of books .....	161	70
5.6 Conclusions .....	166	73
<b>6. APPLICATIONS, SIMULATIONS AND EXPERIMENTAL STUDIES .....</b>	<b>169</b>	<b>75</b>
6.1 Programming of tests and experiments .....	169	75
6.2 RIM / RTM navigation simulations and experimental tests .....	170	75
6.2.1 Analysis and interpretation of experimental navigation results .....	176	80
6.3 Experimental tests for face detection and recognition .....	178	81
6.3.1 Implementation of the face detection and recognition application .....	178	-
6.3.2 Experimental test results .....	181	81
6.4 Experimental tests for the detection and recognition of books .....	182	82
6.4.1 Implementation of the book detection and recognition application .....	182	-
6.4.2 Experimental test results .....	184	82
6.5 Experimental studies on the prehension and manipulation of documents / books...	185	83
6.5.1 Experimental prehension tests of books .....	185	83
6.5.1.1 Test setup and software program .....	185	83
6.5.1.2 Analysis and interpretation of results .....	187	85
6.5.2 Experimental tests for document / book manipulation .....	191	88
6.5.2.1 Test planning .....	191	88
6.5.2.2 Carrying out of handling and transport experiments .....	192	89
6.5.2.3 Analysis and interpretation of manipulation results .....	193	90
6.6 Experiments on SROSIB interaction with users .....	194	90
6.6.1 Implementation of the graphical user interface .....	194	90
6.6.2 Testing and validation .....	197	90



6.7 Conclusions .....	199	92
<b>7. FINAL CONCLUSIONS, ORIGINAL CONTRIBUTIONS, VALUATION OF RESULTS AND NEW RESEARCH DIRECTIONS .....</b>	<b>203</b>	<b>95</b>
7.1 Final conclusions .....	203	95
7.2 Original contributions .....	205	97
7.3 Capitalizing the research results .....	206	98
7.3.1 Published papers .....	206	98
7.3.2 Attendance at conferences .....	207	99
7.3.3 Participation in research and development contracts .....	208	100
7.4 New research directions .....	208	100
<b>BIBLIOGRAPHY .....</b>	<b>209</b>	<b>101</b>
<b>APPENDIX .....</b>	<b>229</b>	<b>-</b>
<b>Appendix 1.</b> The source code for connecting to the RMI robot .....	229	-
<b>Appendix 2.</b> The source code associated with the displacement algorithm .....	230	-
<b>Appendix 3.</b> The source code associated with the face detection algorithm .....	232	-
<b>Appendix 4.</b> The source code for the RIM command .....	235	-
<b>Appendix 5.</b> The source code associated with the book recognition algorithm .....	238	-
<b>Appendix 6.</b> Source code for RTM command and control .....	249	-
<b>Appendix 7.</b> Semantic elements in HTML 5, CSS 3, and JavaScript rules .....	252	-
<b>Appendix 8.</b> Questionnaire on the usability of the Infolibrary web interface .....	255	-
<b>SUMMARY .....</b>	<b>256</b>	<b>110</b>
<b>Romanian CV .....</b>	<b>257</b>	<b>111</b>
<b>English CV .....</b>	<b>258</b>	<b>112</b>
<b>DECLARATION OF AUTHENTICITY .....</b>	<b>259</b>	<b>-</b>

# LISTA ABREVIERILOR

2D	<i>bidimensional</i>
3D	<i>tridimensional</i>
AdaBoost	<i><b>Adaptive Boosting</b></i>
AEP	<i>Automatizări Electropneumatice și Pneumatice</i>
AGV	<i>Automated Guided Vehicles</i>
AIDC	<i>Automatic Identification and Data Collection</i>
AIT	<i>Automatic Identification Technology</i>
AR	<i>Augmented Reality (realitatea augmentată)</i>
ARIA	<i>Advanced Robotics Interface for Applications</i>
ARNL	<i>Advanced Robotics Navigation and Localization</i>
CAPM	<i>Comprehensive Access in Printed Materials</i>
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CD	<i>Compact Disc</i>
CDS/ISIS	<i>Computerized Documentation Service / Integrated Set of Information Systems</i>
CMOS	<i>Complementary Metal–Oxide–Semiconductor</i>
CNN	<i>Concurrent Neural Networks</i>
COM1	<i>Communications port 1</i>
CSS	<i>Cascade Style Sheets</i>
CUDA	<i>Compute Unified Device Architecture</i>
CV	<i>Computer Vision</i>
DCE	<i>Data Circuit termination Equipment</i>
DLL	<i>Dynamic Link Library</i>
DOF	<i>Degree Of Freedom</i>
DSUB9	<i>D-subminiature 9-pin</i>
DVD	<i>Digital Video Disc (Digital Versatile Disc)</i>
E	<i>Efector</i>
FLASH	<i>First Laser Amplified Superluminal Hookup Systems</i>
FLC	<i>Fuzzy Logic Control</i>
FTS	<i>Force Torque Sensors</i>
GND	<i>Signal Ground</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HDD	<i>Hard Disk Drive</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
ICT	<i>Information and Communication Technology</i>
ID	<i>Identification Data</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
ILS	<i>Integrated Library System</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISRI	<i>Intelligent Systems Research Institute</i>
IT	<i>Information Technology</i>
LIBER-IMMS	<i>Sistem destinat bibliotecilor bazat pe tehnologia RFID pentru servicii interactive și de transmitere de mesaje prin Internet și telefonie mobilă</i>
LMS	<i>Library Management System</i>

---

LMS200	<i>Laser Measurement Sensor 200</i>
LUCAS	<i>Limerink University Computerized Assistive System</i>
MARC	<i>MAchine-Readable Cataloging</i>
MCL	<i>Monte Carlo Localization</i>
MCU	<i>Micro Controller Unit</i>
MEGA-D	<i>Megapixel Digital Stereo Head</i>
MO	<i>Mecanismul de Orientare</i>
MP	<i>Mecanismul de Poziționare</i>
OCR	<i>Optical Character Recognition</i>
OLC 15	<i>Oțel Carbon de Calitate cu 0, 15 %C</i>
OPAC	<i>Online Public Access Catalog</i>
OpenCV	<i>Open Source Computer Vision</i>
P3-AT	<i>Pioneer 3 All - Terrain</i>
P3-DX	<i>Pioneer 3-DX</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PRO-DD	<i>Institutul de Cercetare Dezvoltare Inovare <b>Produce</b> High-tech pentru <b>Dezvoltare Durabilă</b></i>
PTP	<i>Point To Point</i>
PTZ	<i>Pan Tilt Zoom</i>
PWC	<i>Prestige Web Camera</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RIM	<i>Robot de Informare și Manipulare</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computing</i>
RTLS	<i>Real Time Locating Systems</i>
RTM	<i>Robot de Transfer și Manipulare</i>
SLAM	<i>Simultaneous Localization <b>and</b> Mapping</i>
SROSIB	<i>Sistem <b>Robotizat</b> pentru Servicii în <b>Bibliotecii</b></i>
SURF	<i>Speeded Up Feature <b>Robust</b></i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, <b>Opportunities</b> and <b>Threats</b></i>
TCP/IP	<i>Transmission Control <b>Protocol/Internet Protocol</b></i>
UbiComp	<i><b>Ubiquitous Computing</b></i>
UHF	<i>Ultra <b>High Frequency</b></i>
UJI	<i>Universitat <b>Jaume-I</b> Castellon, Spania</i>
UNESCO	<i>United Nations <b>Educational, Scientific and Cultural</b> <b>Organization</b></i>
UTBv	<i>Universitatea <b>Transilvania</b> din <b>Brașov</b></i>
VNC	<i>Virtual Network Computing</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
Wi-Fi	<i>Wireless <b>Fidelity</b></i>
WLAN	<i>Wireless <b>Local Area Network</b></i>



# 1. INTRODUCERE

## 1.1 ASPECTE GENERALE

În prezent, domeniul roboticii avansează într-un ritm de dezvoltare extrem de alert, în ultimul timp fiind propuse și implementate noi soluții, adaptate pentru simplificarea și ușurarea muncii omului. Tendința de asociere a domeniului roboticii cu *Internet of Things* (IoT), *Ubiquitous Computing* (UbiComp) sau *Augmented Reality* (AR) a crescut, în ultimii ani, datorită interesului oamenilor de știință față de roboții mobili, pentru capacitățile acestora de a se deplasa în diferite medii și posibilitățile de a fi dotați cu inteligență artificială.

Progresele rapide înregistrate de tehnologiile informației și comunicațiilor (*Information and Communication Technology* – ICT), precum și complexitatea în creștere a sectorului de servicii, datorată schimbării modului de viață al oamenilor au condus la o dezvoltare și o diversificare spectaculoasă a domeniului de servicii.

În conformitate cu aceste progrese tehnologice și sociale, oamenii de știință, cercetătorii și inginerii depun eforturi mari în vederea proiectării și dezvoltării unor roboți mobili de servicii capabili să se integreze tot mai bine în mediul lor de lucru.

Multe dintre aplicațiile acestora, în lumea reală, se desfășoară în medii dinamice care impun capacități distribuite de funcționare în timp și spațiu. Numeroase cercetări din ultima perioadă, care au vizat aplicațiile robotice, au tratat problemele legate de utilizarea roboților mobili autonomi, însă se poate concluziona că tehnologiile actuale în robotică încă nu ating cerințele complexe care trebuiesc îndeplinite de aplicațiile de monitorizare, manipulare sau transport, întâlnite în mediile de bibliotecă. Complexitatea proiectării unui sistem robotizat pentru servicii în bibliotecă este principalul motiv pentru care astfel de aplicații încă sunt în plină dezvoltare.

## 1.2 NECESITATEA ȘI JUSTIFICAREA TEMEI

Necesitatea dezvoltării tematicii tezei de doctorat a rezultat din nevoia diversificării, creșterii calității și eficienței serviciilor oferite utilizatorilor (studenți, masteranzi, doctoranzi, cadre didactice etc.), din preocuparea continuă pentru modernizarea și automatizarea proceselor de manipulare și transport în bibliotecă. Tratatul acestei teme a fost motivată și de necesitatea implementării unor roboți mobili de servicii, care să execute activități de informare, manipulare și transport, la un nivel evoluat, fără intervenția factorului uman în luarea deciziilor sau în îndeplinirea sarcinilor impuse. În prezent, abordarea și utilizarea roboților mobili de servicii pentru efectuarea activităților/operațiilor specifice bibliotecii se confruntă în continuare, cu o serie de probleme încă nesoluționate, care limitează percepția mediului de lucru, interacțiunea robotului cu mediu, interacțiunea utilizatorului cu robotul, planificarea bazată pe sarcini.

Pentru rezolvarea problemelor specificate s-a considerat oportună efectuarea de cercetări privind dezvoltarea și implementarea unor sisteme robotizate pentru servicii în bibliotecă, care au la bază algoritmi de control și protocoale de comunicații evolute, precum și un nivel ridicat de fiabilitate, flexibilitate și eficiență pentru execuția sarcinilor complexe impuse. Această abordare presupune dotarea platformelor robotice mobile existente, cu echipamente și dispozitive suplimentare (brațe de manipulare, dispozitive de prindere, camere video etc.) și dezvoltarea de algoritmi evoluți, de control în timp real, pentru detectare, recunoaștere și urmărire a obiectelor, care prin implementare conferă sistemului dezvoltat valențe de sistem inteligent.

Ca urmare a justificărilor prezentate, dezvoltarea de cercetări privind implementarea roboților mobili de servicii în bibliotecă presupune concepția, dezvoltarea, implementarea și testarea de algoritmi dedicați, precum și studii de simulare și testare experimentală privind

integrarea acestora în practică, bazat pe posibilități de comunicare diverse [Panfir, 2013].

### 1.3 SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII

Prezentul studiu își propune să evalueze implementarea unui sistem informatic bazat pe tehnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) și introducerea unui sistem robotizat pentru servicii în biblioteci, capabil să realizeze operații/sarcini de manipulare și transport într-un mod cât mai natural, asemănător comportamentului uman.

Scopul principal al acestui sistem este, pe de-o parte, de a introduce noi facilități de informare și documentare a utilizatorilor, iar pe de altă parte, de a ușura efortul bibliotecarilor să identifice, manipuleze, transporte, depoziteze și administreze fondul documentar.

**Obiectivul principal** al tezei de doctorat este studiul, concepția, dezvoltarea, implementarea și testarea unui sistem robotizat pentru servicii în biblioteci, care implică integrarea a doi roboți mobili, realizați pe platforme mobile cu roți, existente în dotarea Laboratorului de Robotică și Realitate Virtuală al Universității *Transilvania* din Brașov, în activități specifice serviciilor din bibliotecă: operațiuni de deplasare controlată, reconfigurare, manipulare carte (circulație, inventariere) și transport la/de la raft, în scop demonstrativ.

#### **Obiective specifice**

Chiar dacă este prevăzut a se realiza la nivel didactic, acest sistem este unul complex, cu funcțiuni avansate, care necesită desfășurarea de investigații în următoarele direcții:

- cercetarea documentară privind istoricul, evoluția și tendințele actuale în dezvoltarea sistemelor informatice integrate bazate pe tehnologia RFID și analiza bibliografică exhaustivă asupra cercetărilor teoretice și experimentale în domeniul roboticii mobile de servicii;
- modelarea și planificarea traiectoriilor de navigare/manipulare ale roboților mobili de servicii: modelarea cinematică și planificarea traiectoriilor platformelor mobile cu roți diferențiale și modelarea cinematică a manipuloarelor montate pe acestea;
- modelarea prehensiunii cărților, a contactului bac/deget-obiect, crearea modelelor statice de prindere a cărților cu două și trei bacuri/degete;
- concepția, dezvoltarea și implementarea unui sistem robotizat pentru servicii în biblioteci care integrează sisteme robotice realizate pe platforme mobile cu roți (Pioneer 3-AT și PowetBot);
- planificarea traiectoriilor și programarea roboților mobili de servicii dezvoltați în vederea îndeplinirii sarcinilor propuse, de manipulare și transport documente/cărți;
- concepția, proiectarea, dezvoltarea și implementarea unor subsisteme vision de detecție și recunoaștere a feței, și respectiv, de detecție, recunoaștere și urmărire a cărții, în timp real;
- realizarea de aplicații, simulări în mediul virtual, teste în mediul real de informare/documentare și studii experimentale, privind navigarea roboților de servicii dezvoltați, prehensiunea, manipularea și transportul documentelor/cărților, detecția și recunoașterea feței și a cărții, interacțiunea roboților cu utilizatorul, în vederea evaluării sistemul robotizat pentru servicii în bibliotecă, atât la nivel de subsisteme cât și ca sistem integrator a acestora.

### 1.4 METODOLOGIA ȘI ETAPELE CERCETĂRII

Cercetările realizate în cadrul acestei lucrări sunt direcționate spre creșterea nivelului de inteligență al roboților mobili pe roți, dotați cu diferite echipamente suplimentare, utilizați pentru diverse operații/sarcini/procese ce se desfășoară în bibliotecă.

Pornind de la obiectivele impuse prezentate mai sus și de la analiza critică a realizărilor teoretice și experimentale actuale în domeniul sistemelor RFID și domeniul roboticii mobile se propune conceperea, dezvoltarea și implementarea unui sistem robotizat de

servicii în bibliotecă, atât din punct de vedere hardware cât și software.

Pentru rezolvarea obiectivelor propuse s-a urmărit parcurgerea următoarelor etape:

- Identificarea principalelor concepte ale managementului și logisticii serviciilor din biblioteci.
- Analiza critică a conceptelor managementului logistic în biblioteci.
- Prezentarea propriilor puncte de vedere asupra proceselor și sinteza de noi concepte.
- Particularizarea conceptelor de manipulare și transport robotizat a materialelor de informare/documentare pentru serviciile din biblioteci publice.
- Elaborarea propriilor programe/metodologii de sinteză și analiză.
- Sintetizarea contribuțiilor.

Demersul cercetărilor realizate lasă în final loc unor explorări viitoare, considerând această teză de doctorat un început pentru noi dezvoltări de concepte, metode și tehnici de creștere a performanțelor serviciilor oferite utilizatorilor și proceselor de manipulare și transport în bibliotecile publice.

## 1.5 STRUCTURA ȘI CONȚINUTUL TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat este structurată în 7 capitole, conține un număr de 169 figuri, 22 tabele, 328 de referințe bibliografice și 8 anexe.

În *capitolul 1, Introducere*, sunt prezentate aspecte generale legate de studiul propus în această teză de doctorat, necesitatea și justificarea alegerii temei, scopul, obiectivul principal și cele specifice precum și metodologia și etapele cercetării parcurse pentru realizarea obiectivelor.

Pornind de la ideea modernizării bibliotecii universitare, prin utilizarea tehnologiilor moderne și sistemelor automate, prima parte a acestui capitol descrie și justifică tematica tezei, scopul principal fiind automatizarea și robotizarea proceselor de manipulare și transport.

În *capitolul 2, Studii, cercetări științifice și realizări privind utilizarea tehnologiilor și sistemelor IT și robotizate în bibliotecile universitare. Stadiul actual*, se evidențiază aspecte legate de managementul logistic al serviciilor în biblioteca universitară: rolul, misiunea, obiectivele, funcțiile și serviciile destinate utilizatorilor. Se pune accent pe importanța sistemelor integrate de bibliotecă și a Internet-ului, ca sursă de comunicare, informare, documentare. Se subliniază importanța modernizării bibliotecilor prin implementarea sistemelor informatice bazate pe tehnologia RFID, adoptarea sistemelor automate și robotizate în toate sectoarele de activitate, în special pentru manipularea și transportul materialelor de informare/documentare (resurselor bibliotecii: cărți, reviste, casete video și audio, CD-*ui (Compact Disc)*, DVD-uri (*Digital Video Disc*) etc.).

În *capitolul 3, Roboți mobili pentru servicii în biblioteci*, se prezintă avantajele principale ale introducerii diverselor tipuri de manipuloare și roboți în diferite domenii de activitate, ca urmare a automatizării serviciilor, tipurile, funcțiile roboților mobili, în general, și a roboților mobili cu roți, în particular.

Se pune accentul pe descrierea structurii platformelor mobile cu roți diferențiale, care vor sta la baza dezvoltării unor roboți de informare/documentare, manipulare și transport.

Îndeplinirea sarcinilor care revin acestora impune abordarea problematicii navigării/manipulării în mediul de operare. În acest scop sunt prezentate modelarea cinematică a platformelor mobile și a manipuloarelor, planificarea traiectoriilor de navigare/manipulare, modelarea și recunoașterea mediului de lucru.

Probleme de mediu, aspecte tehnice, aspecte specifice legate de performanțele necesare pentru satisfacerea cerințelor impuse, siguranța în interacțiunea cu utilizatorii, funcționarea corectă și robustă, capacitățile de mișcare, detectare, manipulare sunt considerate importante în alegerea/dezvoltarea roboților mobili de servicii pentru biblioteci.

În *capitolul 4, Modelarea și proiectarea proceselor de prehensiune și manipulare robotizată a cărților*, se prezintă aspecte generale privind manipularea și transportul robotizat al obiectelor solide, principiile concepției și proiectării sistemelor de manipulare/transport în medii industriale și de servicii.

Acest capitol este dedicat descrierii: proceselor de prehensiune a obiectelor solide; caracteristicilor și performanțelor dispozitivelor de prindere de diferite tipuri, în general; obiectelor de prehensat în biblioteci și diverselor dispozitive de prehensiune (cu bacuri, mâini mecanice cu degete, inteligente) pentru cărți și documente de informare, în special.

Asigurarea echilibrului și stabilității cărții în dispozitivul de prindere, pe parcursul procesului de manipulare și transport, fără deteriorarea copertilor sunt esențiale în alegerea unei soluții optime de prindere. În acest scop, în continuare, sunt prezentate modelarea contactelor de prindere dintre prehensor și carte, modelarea prehensiunii cărții cu două și trei bacuri/degete.

În *capitolul 5, Sistem robotizat pentru servicii în biblioteci (SROSIB)*, este descrisă conceperea, dezvoltarea și implementarea sistemului robotizat pentru servicii în biblioteci, într-o variantă originală. Ca părți principale ale acestui sistem se evidențiază roboții mobili cu manipulator dezvoltați pe platforme mobile existente în Laboratorul de Realitate Virtuală și Robotică al Universității, un robot fiind destinat serviciilor interactive de informare/documentare și manipulare documente de mase și gabarite mici, iar celălalt manipulării și transportului cărților. Se prezintă structura generală și funcționarea SROSIB, dezvoltarea hardware și software a platformei mobile Pioneer 3-AT cu manipulatorul Pioneer 2Arm (5 DOF (*Degree Of Freedom*)) și alte dispozitive suplimentare necesare îndeplinirii sarcinilor propuse (monitor, cititor RFID, cameră video etc.) și a platformei PowerBot cu manipulatorul PowerCube (6 DOF).

În continuare, se descriu metodele și algoritmi utilizați de aplicațiile software dezvoltate pentru detecția și recunoașterea feței, pentru detecția, recunoașterea și urmărirea obiectelor (documente/cărți la raft), în imagini statice și respectiv dinamice – cadre capturate în timp real (live), cu o cameră web.

În *capitolul 6, Aplicații, simulări și teste experimentale* sunt prezentate aplicații de integrare, simulări și teste experimentale realizate în vederea validării SROSIB la nivel de subsisteme componente, dar și la nivel de structură integrantă.

Capitolul descrie sintetic aspecte privind interacțiunea roboților mobili de servicii, dezvoltați pentru bibliotecă cu mediul de lucru în care evoluează, scopul *simulărilor și testelor experimentale de localizare și navigare*, în mediu static și/sau dinamic, fiind obținerea unor deplasări autonome.

*Testarea software-ului*, care se prezintă în continuare, asigură examinarea funcționalităților înainte ca sistemul, pentru care a fost creat, să fie utilizat. Scopul acestei testări este de a identifica erorile de software și de a corecta defectele care au cauzat aceste erori.

*Testarea în vederea validării aplicațiilor/programelor software* (testarea de acceptare), care se realizează, în urma testelor de verificare, folosindu-se date reale, se evidențiază și în cazul interfeței grafice cu utilizatorul. Scopul final este stabilirea faptului că aplicația/programul satisface cerințele viitorilor utilizatori.

În continuare se evidențiază, o serie de *teste experimente de prindere, manipulare și transport* a documentele ușoare, de dimensiuni mici (CD) și a cărților, urmărindu-se traiectorii programate anterior și stabilirea coeficienților de frecare între carte și bacurile prehensorului, astfel încât transportul acestora să se poată desfășura în siguranță, fără deteriorarea copertilor cărții.

În *Capitolul 7, Concluzii finale, contribuții originale, valorificarea rezultatelor și direcții noi de cercetare*, sunt prezentate concluziile finale, contribuțiile originale proprii, valorificarea și diseminarea rezultatelor științifice obținute în urma studiului (lista de lucrări publicate, participarea la conferințe internaționale și implicarea în cadrul proiectelor de cercetare), precum și direcțiile noi de cercetare.

## 2. STUDII, CERCETĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI REALIZĂRI PRIVIND UTILIZAREA TEHNOLOGIILOR ȘI SISTEMELOR IT ȘI ROBOTIZATE ÎN BIBLIOTECILE UNIVERSITARE. STADIUL ACTUAL

### 2.1 INTRODUCERE

În contextul actual, în care la nivel internațional, accesul la informația științifică reprezintă un criteriu important al competitivității unei instituții de învățământ superior, devine deosebit de important rolul bibliotecii în asigurarea necesităților de informare pentru studenți, cadre didactice, cercetători. Biblioteca reprezintă „un element constitutiv al identității de imagine a universității. Programele de dezvoltare ale cercetării nu pot fi privite în afara acestei instituții” [Halgaș, 2010].

Biblioteca universitară reprezintă o structură info-documentară, care contribuie major la pregătirea specialiștilor, formarea cercetătorilor, căutând să prezinte linii orientative în vederea modificării și consolidării unor noi modele în procesul didactic din universități. Acestea ar trebui să se bazeze pe implicare, creativitate, competiție.

Pentru a se putea adapta viitoarelor solicitări ale utilizatorilor, bibliotecile apelează la informatizare și robotizare, acestea devenind obligatorii în vederea modernizării lor, întrucât bibliotecile trebuie să reprezinte prezentul și, în mod deosebit, viitorul. „Adevărata modernizare a bibliotecilor românești trebuie să înceapă cu modernizarea managementului, infrastructurii, cu reexaminarea tuturor fluxurilor și a tuturor activităților și relațiilor” [Chivu, 2004].

### 2.2 MANAGEMENTUL ȘI LOGISTICA SERVICIILOR DIN BIBLIOTECI

#### 2.2.1 ROLUL, MISIUNEA, OBIECTIVELE ȘI FUNCȚIILE

În prezent, se poate observa o puternică diversificare a tehnicilor de documentare precum și a modalităților de regăsire a informației. Această evoluție pe plan informațional a produs efecte negative asupra poziției și rolului bibliotecilor de principal factor al difuzării de servicii și produse info-documentare. Prin instrumentele, serviciile și facilitățile oferite, biblioteca are posibilitatea de a-și îndeplini *rolul educativ*, utilizatorii beneficiind astfel de întreaga gamă de resurse informaționale și documentare pe care aceștia le solicită. În calitatea sa de instituție care, nu doar gestionează o largă categorie de documente și resurse informaționale, dar se implică și în activități de cercetare-documentare, bibliotecii îi revine *rolul de manager al cunoașterii*. Schimbările de abordare și structurale profunde care au avut loc în ultimele decenii la nivelul bibliotecilor precum și a filosofiei relației cu utilizatorii au permis realizarea de servicii și produse cu o valoare informațională superioară, concepute să pună la dispoziția utilizatorilor nu doar simple documente ci și sinteze ale acestora rezultate în urma unor activități de cercetare. *Principalul rol al unei biblioteci în cadrul unei universități* constă în constituirea de colecții de materiale info-documentare solicitate de către personalul academic, cercetătorii și studenții implicați în activități de educație și cercetare. La acestea se adaugă numeroase alte servicii și facilități menite să acopere cerințele unei vaste categorii de utilizatori.

Misiunea, scopurile și obiectivele unei biblioteci universitare se pot evidenția prin următoarele definiții:

*Misiune.* Îndeplinirea cerințelor referitoare la informare ale tuturor tipurilor

deutilizatori din universitate: studenți, profesori, cercetători prin structurarea și garantarea accesului la o diversitate de informații, publicații și servicii info-documentare [Pop, 2009a].

*Scopuri:*

- dezvoltarea continuă a fondului de publicații corespunzător susținerii procesului didactic și de cercetare științifică;
- crearea și menținerea unor facilități de bibliotecă adecvate;
- asigurarea accesului utilizatorilor (studenți, cadre didactice, cercetători, masteranzi și doctoranzi) la toate resursele documentare și informaționale,
- diversificarea, modernizarea și creșterea calității serviciilor de referință și a altor servicii destinate utilizatorilor;
- verificarea stării colecțiilor bibliotecii și dezvoltarea echilibrată a acestora;
- eliminarea documentelor necorespunzătoare, uzate fizic sau moral din fondul bibliotecii;
- extinderea informatizării activităților de bibliotecă prin sisteme integrate de bibliotecă performante;
- o mai mare implicare a bibliotecii în viața facultăților, prin dezvoltarea relațiilor cu consiliile profesoriale;
- extinderea participării bibliotecii la manifestările și proiectele cultural-științifice;
- asigurarea unor condiții de depozitare și manipulare optime conservării colecțiilor bibliotecii și condițiilor corespunzătoare studiului și cercetării;
- administrarea eficientă și utilizarea responsabilă a fondurilor financiare și a resurselor bibliotecii.

*Obiective:*

- dezvoltarea colecțiilor, creșterea fondului documentar;
- evidența, organizarea, prelucrarea colecțiilor;
- restaurarea și prezervarea publicațiilor;
- conservarea și prezentarea colecțiilor;
- informarea bibliografică și documentară;
- informatizarea activităților prin utilizarea integrală de sisteme informatice dedicate;
- crearea și dezvoltarea activității metodologice suport;
- internaționalizarea și vizibilitatea.

Prin asigurarea accesului la informații, a unor mijloace de studiu și comunicare continuă, prin diversitatea culturală, prin onorarea cerințelor individuale ale clienților atât bibliotecile publice cât și cele universitare girează funcționarea în condiții decente atât a societății, cât și a comunității academice. Nu doar diversitatea și structura colecțiilor unei biblioteci, completată în timp conform unei strategii stabilite, conferă importanța (însemnătatea) acesteia. Valoarea este dată și de nivelul valorificării componente informative, întrucât *“sarcina fiecărei biblioteci este de a face posibil accesul rapid și eficient al utilizatorilor la documente pentru consultare, informare, cercetare și documentare”*. În societatea bazată pe cunoaștere *funcția informativă a bibliotecii* a devenit una dintre cele mai importante, informația devenind factorul decisiv și principal de dezvoltare în toate domeniile cunoașterii [IFLA, 2005].

În contextul actual, când se produc modificări tot mai importante la nivelul învățământului, în general, și al celui superior, în special, iar stăpânirea informației devine o cerință din ce în ce mai stringentă, un rol esențial în evaluarea acesteia revine bibliotecilor universitare care, transformând serviciile și procesele tradiționale, prin adoptarea noilor tehnologii informaționale și comunicaționale și-au transformat *funcția principală, de depozitar al cunoașterii*, în una de *transmitere a acesteia prin noi mijloace* [Erich, 2013].

*Actualmente, intensificarea importanței informației, care reprezintă resursa centrală a existenței, a condus la amplificarea funcției informative a bibliotecii.* În epoca contemporană, prin potențialul ei informațional, biblioteca este o instituție cu *rol de importanță strategică*, având în vedere asigurarea accesului la o multitudine de informații.

## 2.2.3 LOGISTICA ȘI PROMOVAREA SERVICIILOR BIBLIOTECILOR

Scopul principal al managementului logistic din bibliotecă este creșterea eficienței procesului de transfer al documentelor de bibliotecă (cărți, reviste, casete video și audio, CD-uri, DVD-uri etc.) și a informației, de la bibliotecă la utilizatorul final, ceea ce presupune planificarea, implementarea și controlul unui număr mare de activități: transportul, stocarea, depozitarea, manipularea, sortarea etc. Utilizatorii sunt în atenția oricărei biblioteci, principalul motiv fiind faptul că, în cele din urmă fiecare serviciu oferit de aceasta este nevoit să satisfacă cerințele acestora.

Managementul logistic are un rol important în îmbunătățirea satisfacției utilizatorilor și, în plus, pentru păstrarea acestora. Cu alte cuvinte, serviciile oferite utilizatorilor permit unei biblioteci să adauge mai multă valoare pentru client. Cu servicii bune, evidențiate prin satisfacția utilizatorilor și prin reclamele făcute de aceștia se asigură *promovarea* care „reprezintă o *formă de informare*, de comunicare despre serviciile și produsele bibliotecii” [Harea, 2008].

Sunt efectuate o serie de activități promoționale care au ca scop informarea utilizatorilor asupra profilului, structurii, colecțiilor, serviciilor și produselor info-documentare de care pot beneficia; „stimularea utilizatorilor și atragerea acestora în consumul de servicii și produse”; schimbarea clienților din potențiali în cei reali, prin descrierea oportunităților de care pot beneficia prin utilizarea serviciilor și produselor bibliotecii universitare; „păstrarea contactului cu utilizatorii în vederea informării acestora despre serviciile și produsele oferite” [Prodan, 1998; Enache, 2003; Popescu, 2012].

În prezent, schimbările privind tehnicile informaționale sunt iminente. În aceste condiții, promovarea și logistica serviciilor oferite de către biblioteci se impune a fi constant revăzute și actualizate. Unele procedee de îmbunătățire a viziunii asupra reprezentării bibliotecii universitare, utilizate, inclusiv, în cadrul Bibliotecii Universității *Transilvania* din Brașov sunt: website-ul bibliotecii, expoziții, materiale promoționale, vizite colective, manifestări științifico-culturale, relații de parteneriat, mass-media etc.

## 2.3 DIGITIZAREA DOCUMENTELOR ȘI INFORMATIZAREA ACTIVITĂȚILOR DE COMUNICARE ȘI DOCUMENTARE

### 2.3.2 INFORMATIZAREA ACTIVITĂȚILOR DE COMUNICARE ȘI DOCUMENTARE

Informatizarea bibliotecii reprezintă un „proces complex” care implică, nu doar elementara dotare cu echipamente de calcul și de comunicații, instalarea programului de bibliotecă și mai multe operațiuni cum ar fi: instruirea personalului, organizarea și catalogarea colecției, înscrierea utilizatorilor, conceperea strategiei de împrumut în concordanță cu facilitățile programului, asistența tehnică etc. [Softlink, 2019a].

*Comunicarea* este definită ca „fiind un proces de transmitere a informațiilor (idei, fapte, opinii, atitudini, sentimente, date) prin utilizarea de simboluri, între două sau mai multe subsisteme, care au capacitatea de a le percepe, folosind unul sau mai multe canale specifice (medii de comunicare)”. Oricare instituție modernă, care implică relaționări sistemice și interumane este necesar să dețină mai multe canale de comunicare, care armonizează legăturile între părțile ce o compun. Astfel, comunicarea se poate considera „esența activității organizate și procesul fundamental din care derivă toate celelalte funcții” [Stratan, 2004].

Creșterea pronunțată a evoluției pe plan tehnologic a internet-ului, intranet-ului,

sistemelor multimedia etc.) și ampla răspândire a lor a avut o serie de efecte relevante și la nivelul comunicării interorganizaționale, intergrupuri, interpersonale care apar în bibliotecile actuale. Tehnologiile actuale schimbă radical conceptul de profesionalizare într-o instituție, oferind canale speciale de comunicare și difuzare informațională.

Biblioteca, instituție construită pe informație și cunoaștere, actual funcționează bazat pe subsisteme de comunicare dedicate:

- *rețele de comunicare interne* (intranet) care îmbunătățesc calitatea comunicării interdepartamentale și comunicării interindividuală orizontală;
- *baze de date și de cunoștințe* proprii care îmbunătățesc activitatea instituției deoarece se exclud timpii necesari stocării și căutării informațiilor;
- *platforme de acces la internet* ce contribuie „la deschiderea bibliotecii spre spațiul public, atât din punct de vedere al contactului cu marea planetară de informație, cât și din punct de vedere al prezenței organizației în fața utilizatorului” [Doval, 2008; Dumitru, 2013].

Informatizarea este strâns legată de existența unui sistem informatic de bibliotecă ce poate fi:

- *la cheie*, proiectat, programat și testat de organizații sau companii comerciale;
- *adaptat*, presupune procurarea separată a hardware-ului și a software-ului de bază care permite dezvoltarea de aplicații specifice;
- *dezvoltat local*, a răspunde cerințelor particulare ale unei bibliotecii;
- *partajat*, bazat pe împărțirea resurselor aceluiași sistem cu alte biblioteci situate în rețea [Boss, 1990].

În funcție de modalitatea de informatizare, serviciile bibliotecii se pot clasifica în:

- *Sisteme informatice autonome*, în care „nu se modifică nimic în activitatea serviciilor de bibliotecă, ci se schimbă doar instrumentul de lucru, care permite personalului bibliotecii să realizeze mai rapid, mai ieftin și mai eficient activitățile specifice”. Acest sistem se caracterizează printr-o rigiditate mărită în comunicarea datelor și prin existența multor redundanțe [Richter, 1995].
- *Sisteme informatice integrate*, care presupun „existența unei baze de date ca fișier unic al bibliotecii, gestionată de un software adecvat și la care să aibă acces toate serviciile bibliotecii. Baza de date conține informații bibliografice despre toate categoriile de documente existente în colecțiile bibliotecii” [Banciu, 1997]

## 2.4 SISTEME INFORMATICE BAZATE PE TEHNOLOGIA RFID IMPLEMENTATE ÎN BIBLIOTECI

### 2.4.1 ASPECTE GENERALE

Tehnologia RFID a fost utilizată, inițial, în biblioteci pentru îmbunătățirea inventarului de cărți [Ferrer, 2010; Coyle, 2005; Thornley, 2011; Wang, 2011] precum și pentru prevenirea furturilor [Young, 2004b; Golding, 2007].

Pe plan mondial, sistemul RFID a fost utilizat de către biblioteci, încă de la sfârșitul anului 1990, pentru: identificarea materialelor de bibliotecă, auto-împrumut, auto-restituire, „control antifurt, inventarierea, sortarea și transportul cărților și ale materialelor audiovizuale”.

### 2.4.2 TEHNOLOGIA RFID

Tehnologia inteligentă RFID aparține categoriei de tehnologii de identificare automată și colectare a datelor (AIDC – *Automatic Identification and Data Capture*). „Codul cu bandă magnetică, recunoașterea optică a caracterelor, cardurile optice, recunoașterea vocii, memoria tactilă etc.” fac parte din această categorie. [Bălan, 2004].

*Eticheta RFID, cititorul de etichete (interogator) și sistemul de prelucrare a datelor,*



care ar putea fi un calculator personal sau diverse microcontrolere reprezintă cele trei elemente (fig. 2.6) ce alcătuiesc un sistem RFID [Ghilic-Micu, 2004].

*Eticheta cu identificare prin radiofrecvență* include un circuit integrat care comandă comunicația cu cititorul. Aceasta conține cel puțin două părți (fig. 2.7), una care asigură comunicația cu cititorul (antena) și a doua, un circuit integrat de memorie, care stochează codurile de identificare sau codurile altor informații, și devine activă simultan „cu comunicația prin antenă” [Tudora, 2011]. La trecerea unui produs (articol) care are lipită eticheta cu codul RFID, prin raza de acțiune a cititorului, aceasta sesizează semnalul emis de cititor și transmite datele reținute în memorie. Referitor la sistemul pasiv, acesta funcționează astfel: ca urmare a semnalului de radiofrecvență emis de cititor eticheta receptează „informații temporale” și energie necesară pentru funcționare. [Tănase, 2002].

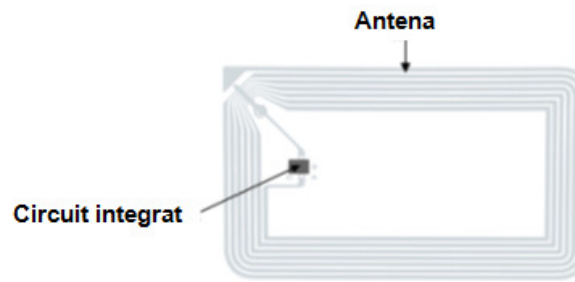


Fig. 2.7 Structura unei etichete (tag) RFID

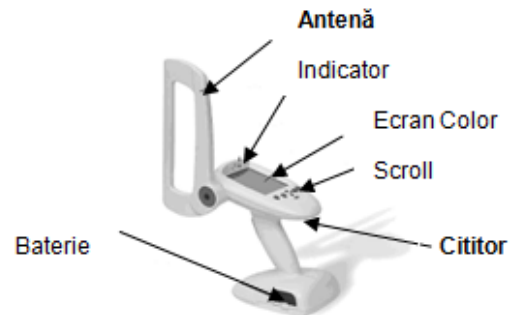


Fig. 2.8 Structura unui cititor RFID

Diverse componente electronice care transmit și captează un semnal către eticheta RFID și de la etichetă, microprocesorul care controlează și decodifică informațiile recepționate, precum și memoria care stochează informațiile, care apoi pot fi comunicate, în cazul în care este nevoie, compun cititorul RFID (fig. 2.8). Pentru a se putea realiza recepția și transmisia informațiilor stocate pe etichetă, cititorul are conectată o antenă care poate fi integrată în carcasa cititorului sau poate fi separată, situată în exteriorul acestuia. Cu toate acestea, întrucât RFID utilizează frecvențe radio pentru a comunica cu etichetele receptoare aplicate pe unități (de bibliotecă etc.), spre deosebire de scanarea barcodurilor cu un laser, cititorul RFID poate citi mai multe unități simultan și este capabil să efectueze operațiile de vizualizare și citire.

Actual, implementarea noilor tehnologii RFID este justificată de avantajele față de sistemul coduri de bare care este deja omniprezent. În comparație cu tehnologia cu coduri de bare, tehnologia RFID are următoarele categorii de avantaje:

- *capacitate de stocare mult mărită* (etichetele convenționale bazate pe codul de bare pot „memora” un volum de informații de numai 20 de caractere, eticheta RFID oferă avantajul stocării unui volum mai mare de informații);
- *viteză de comunicare mai rapidă;*
- *posibilități de automatizări;*
- *flexibilitate mărită* (există etichete RFID care sunt baze de date dinamice sau care conțin informații de tip citite/scrise);
- *selectivitate* la solicitările dispozitivului de interogare;
- *costurile reduse de deținere în proprietate și utilizare;*
- *citire simultană* de la mai multe etichete.

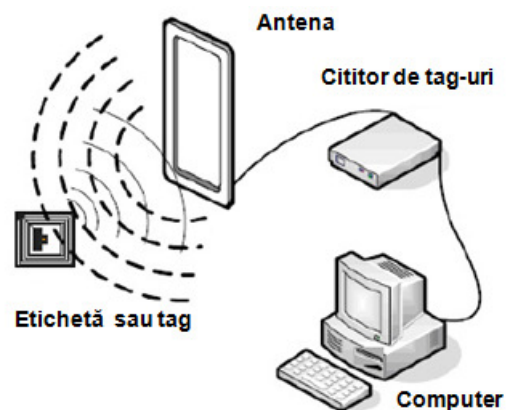


Fig. 2.6 Structura funcțională a unui sistem RFID

În concluzie, sistemul RFID este un procedeu practic de colectare și stocare automată a datelor referitoare la sistemele computerizate de identificare și urmărire. Viteza de lucru se mărește ca urmare a culegerii automate a informațiilor, ceea ce are ca rezultat eliminarea erorilor precum și creșterea accesibilității datelor stocate de „sistem prin accesul în timp real la acestea” [Pescaru, 2008].

Beneficiile reale ale RFID-ului devin vizibile după ce dificultățile apărute pe parcursul implementării sistemului, cum ar fi: prețuri ridicate, standardizarea și „alocarea frecvențelor radio, modelarea proceselor, testarea soluției” sunt rezolvate [Logicode, 2008].

### 2.4.3 STRUCTURA GENERALĂ A SISTEMELOR RFID PENTRU BIBLIOTECI

Collins în 2008 consideră că bibliotecile trebuie să se autoevalueze și să elimine acele procese, fluxuri de lucru și proceduri care nu mai au valoare pentru utilizatori (studenți, cadre didactice etc.) [Collins, 2008]. În acest fel vor apărea noi fluxuri de lucru, mai adecvate momentului actual, iar o mare parte a personalului va putea să se ocupe de managementul resurselor electronice. Acest demers este facilitat, pe de o parte, de automatizarea anumitor operațiuni cu caracter repetitiv (de exemplu, grație tehnologiei RFID, bibliotecarul poate fi eliminat din tranzacțiile de împrumut ale publicațiilor), și pe de altă parte de posibilitățile moderne de comunicare și transfer rapid al datelor, care permit simplificarea unor proceduri (de ex., achiziția/transferul de date bibliografice poate simplifica sau chiar înlocui prelucrarea locală a documentelor).

Sistemul RFID pentru biblioteci presupune implementarea eficientă a funcțiilor acestuia (fig. 2.10), organizarea traseului cititorilor care trec prin poarta cu senzori și ajung la raftul cu cărți sau la ghișeul de informații. De asemenea, vor fi disponibile, un computer utilizat pentru accesul la catalogul public (OPAC – *Online Public Access Catalog*) sau o stație de returnare a cărții.

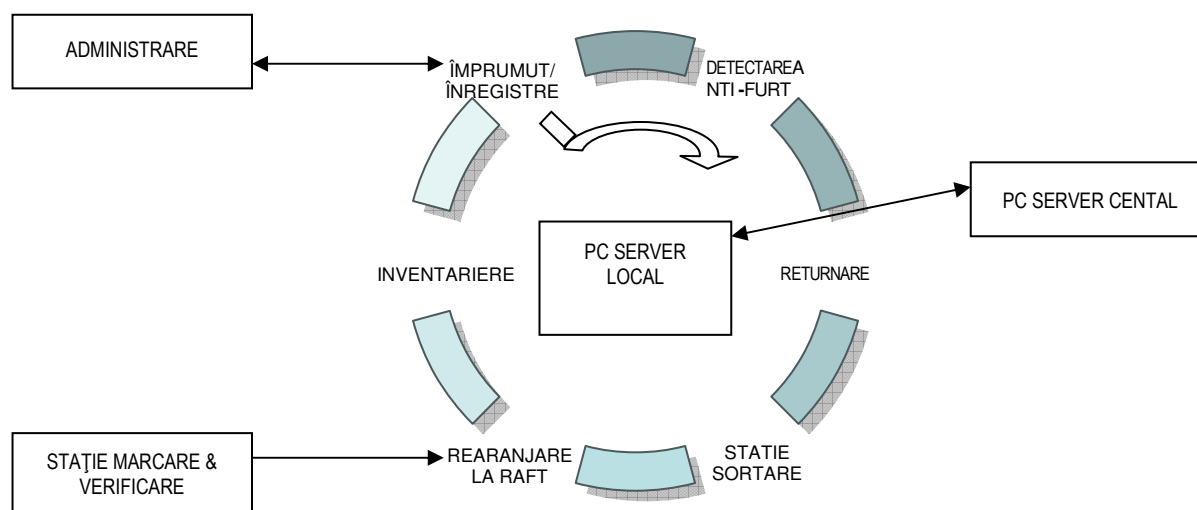


Fig. 2.10 Structura generală a unui sistem RFID pentru bibliotecă

Se extrage, de către utilizator, o carte din raft care apoi este trecută prin stația de auto-împrumut care conține un cititor RFID. Când cardul utilizatorului este plasat în zona de citire se realizează identificarea și deschiderea contului acestuia. Apoi, cărțile ce urmează a fi împrumutate sunt plasate în zona de citire, iar cipul etichetei este reprogramat pentru ieșire. Simultan cărțile sunt trecute în contul utilizatorului, iar alarma este dezactivată la ieșire [Libramation, 2014].

Dacă nu se dorește utilizarea stației de auto-împrumut de către utilizatori, atunci aceștia se vor îndrepta către ghișeele clasice de înregistrare/împrumut.

La returnare, eticheta cărții este din nou citită, baza de date este din nou actualizată,

cartea este direcționată spre stația de sortare, apoi către raft [Pop, 2009b].

Informațiile privitoare la circulația articolelor dintr-o colecție sunt monitorizate cu ajutorul unei baze de date bibliografice. În cazul sistemului RFID, etichetele sunt inscripționate cel puțin cu un barcod. Unii distribuitori recomandă stocarea de informații suplimentare cum ar fi poziția raftului, data ultimei ieșiri, autorul și titlul etc.

Introducerea unui sistem bazat pe radio-frecvență presupune conexiunea la un sistem integrat de bibliotecă, de monitorizare a circulației cărții, deoarece informațiile se conectează la baza de date a bibliotecii.

## 2.6 SISTEME INFORMATICE IMPLEMENTATE ÎN BIBLIOTECA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Informatizarea Bibliotecii Universității *Transilvania* din Brașov începând cu anul 1992 și conectarea rețelei de calculatoare la Internet începând cu anul 1997 au determinat apariția unor transformări complexe atât în ceea ce privește procesul de prelucrare a informației cât și în ceea ce privește serviciile către utilizatori. Au apărut astfel servicii care permit accesul rapid la informațiile de tip bibliografic și de tip full-text, acces la diverse baze de date și, începând cu 2001, accesul la consultarea paginii web a bibliotecii, aflată în proces continuu de completare și dezvoltare (<http://www.unitbv.ro/biblio>). Informațiile obținute din această pagină sunt multiple și utile, probabil, cele mai importante fiind accesul la catalogul on-line și accesul la bazele de date.

Prin conectarea la Internet structura info-documentară se integrează activ în dinamica circuitului mondial al informației, iar posibilitatea conectării la baze de date naționale și internaționale de nivel academic oferă utilizatorilor un potențial major pentru studiu și cercetare.

Dezvoltarea Bibliotecii Universității *Transilvania* din Brașov a trebuit să țină pasul și chiar să devanseze reformele din învățământ și cercetare și să satisfacă conceptul euroatlantic modern de “bibliotecă informațională”. În acest sens, încă din 1992, a fost achiziționat pachetul de programe CDS/ISIS (*Computerized Documentation Service/Integrated Set of Information Systems*), soft elaborat și distribuit gratuit de UNESCO, în 1996 soft-ul VUBIS, în 2001 soft-ul integrat de bibliotecă ALICE, iar din 2006, LIBERTY, o aplicație Internet/Intranet ce înglobează concepte de programare de ultimă oră.

### 2.6.2 SISTEMUL INFORMATIC BAZAT PE TEHNOLOGIA RFID

Având în vedere specificul sălii de lectură de la Institutul de Cercetare Dezvoltare Inovare, *Produse High-tech pentru Dezvoltare Durabilă* (PRO-DD), de susținere a procesului de cercetare avansată, prin accesul la cele mai recente publicații științifice începând cu anul 2011 s-a demarat proiectul de implementare a sistemului informatic integrat bazat pe tehnologia RFID.

#### 2.6.2.1 DEFINIREA PROBLEMEI

Începând cu anul 2011 a fost conceput, proiectat și implementat un sistem integrat RFID în cadrul Bibliotecii Universității *Transilvania* din Brașov, Filiala Institutului de Cercetare Dezvoltare Inovare.

*Obiectivul principal* este optimizarea accesului la informație prin procedee care pot facilita regăsirea tuturor materialelor info-documentare și a surselor de informații științifice din cadrul bibliotecii și din exteriorul ei. Pentru aceasta se urmărește localizarea și testarea de noi servicii în 3 etape: trecând de la scopul intern al bibliotecii, la cel de-al doilea pas

focalizat pe servicii destinate utilizatorilor și încheind cu al treilea pas dedicat îmbunătățirii comunicării dintre utilizatori și bibliotecari.

*Obiectivele specifice* care s-au dorit a fi atinse sunt: participarea bibliotecii la activitățile didactice și de cercetare științifică, asigurând informarea documentară a utilizatorilor; creșterea vitezei de deservire a acestora; optimizarea procesului de inventariere a fondului informativ al bibliotecii și asigurarea unei mai bune protecții antifurt a colecțiilor.

Metodologia de implementare urmărește parcurgerea următoarelor etape: sinteza cercetărilor în domeniul sistemelor RFID efectuate pe plan național și internațional; sistematizarea informațiilor corelate cu stadiul actual și cererea actuală în domeniul cercetărilor și stabilirea direcțiilor noi de dezvoltare; analiza condițiilor de funcționare optimă a sistemelor RFID pentru biblioteci; stabilirea principalilor factori ce influențează caracteristicile și performanțele sistemelor RFID; stabilirea cerințelor în domeniu și achiziționarea elementelor componente ale sistemului RFID ce urmează a fi implementat în bibliotecă; analiza performanțelor sistemelor RFID pentru biblioteci; asigurarea condițiilor optime de funcționare a sistemului; evaluarea rezultatelor și elaborarea concluziilor; stabilirea strategiilor de cercetare viitoare.

### 2.6.2.2 ETAPELE IMPLEMENTĂRII SISTEMULUI RFID

Tehnologia RFID a început să fie introdusă începând cu finele anilor 1990 în aplicații privind circulația, inventarierea și securitatea din biblioteci. Pentru implementarea unui sistem RFID este absolut necesar ca, pentru a respecta un principiu riguros, după enumerarea și „chiar descrierea sistemului, să se efectueze testarea acestor concepte, cel puțin într-un caz pilot” [Jalbă, 2009].

Pașii parcurși la implementarea sistemului RFID la Universitatea *Transilvania* din Brașov au fost următorii:

- *Analiza stadiului actual al desfășurării proceselor specifice bibliotecii* a presupus studiul detaliat al proceselor actuale, de exemplu: împrumutul, restituirea, inventarierea etc.
- *Pregătirea conversiei fondului bibliografic* a constat în achiziționarea de echipamente și accesorii specifice sistemului RFID (etichete RFID și permise pentru utilizatori), definirea datelor ce vor fi înscrise, în funcție de capacitatea de stocare a microcipurilor etichetelor RFID.
- *Conversia fondului și pregătirea serviciului de împrumut/returnare* au presupus achiziționarea stațiilor de programare/conversie, destinate personalului bibliotecii și a stațiilor de împrumut, conversia de la barcoduri la etichete RFID, programarea și reprogramarea etichetelor RFID, dimensionarea hardware, interfațarea softului de bibliotecă.
- *Securizarea fondului bibliografic* a necesitat achiziționarea porții de securizare antifurt.
- *Introducerea serviciului de autoîmprumut* presupune achiziționarea de unități self-check.
- *Introducerea sistemului de inventariere* presupune achiziționarea unui dispozitiv Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) portabil pentru realizarea inventarului mobil.
- *Evaluarea punerii în aplicare a noii tehnologii RFID* a presupus testarea și evaluarea echipamentelor achiziționate și stabilirea faptului dacă este sau nu benefică implementarea sistemului RFID în bibliotecă [Pop, 2010c].

Este evident că prin introducerea sistemului RFID au fost necesare o serie de modificări la nivel structural și funcțional pentru ca acest sistem să poată fi exploatat cu maximă eficiență în cadrul bibliotecii. Beneficiile aduse prin creșterea performanțelor activităților bibliotecii au rezultat din: reducerea semnificativă a timpului necesar activităților specifice; reducerea la minimum a activităților de rutină și a contactelor personalului cu utilizatorul; creșterea securității cărților prin mecanisme specifice implementate la nivel de etichetă care oferă posibilitatea de a urmări în permanență traseul acestora; localizarea simplă și accesul rapid la cărți indiferent de amplasarea lor pe raft [Pop, 2011b]; reducerea costurilor

materialelor auxiliare.

Toate aceste aspecte favorabile care contribuie la creșterea calității serviciilor bibliotecii se obțin pe seama introducerii unor echipamente de control și sortare automată a cărților și, prin consecință, a reorganizării traseului utilizatorilor. O altă consecință imediată este reducerea și recalificarea personalului implicat în manipularea cărților.

## 2.8 SISTEME AUTOMATE ȘI ROBOTIZATE DE MANIPULARE ȘI TRANSPORT DIN BIBLIOTECI

### 2.8.1 AUTOMATIZAREA ACTIVITĂȚILOR DIN BIBLIOTECI

Cercetările în domeniul automatizării și robotizării din biblioteci au un lung istoric de aplicare în catalogarea, regăsirea și returnarea cărților [Kim, 2008b; Morales, 2007]. Aceste studii se concentrează asupra rezolvării problemelor tehnice prin utilizarea roboților industriali în locații fixe din bibliotecă. Roboții mobili [Bräunl, 2008; Dudek, 2000], care posedă atât autonomie cât și abilitatea de a percepe și reacționa la condițiile de mediu, au atras doar recent atenția bibliotecilor. Unele biblioteci introduc roboți mobili în procesul de servire prin folosirea lor ca ghizi de orientare a studenților către raftul adecvat [Hahn, 2010; Meere, 2010]; totuși sunt puține cazurile în care cercetarea din educație s-a orientat pe aplicațiile cu roboți mobili de servicii [Chang, 2010; Lin, 2009; Woods, 2004] care să fie utilizați în practica bibliotecilor. Aceste studii, deși lipsite de contextele specifice și condiționările mediului au sugerat o tendință generală de a considera *robotul mobil* ca fiind un *agent adecvat pentru asigurarea îndrumării și implicării utilizatorilor în activități de învățare*.

Autorii Kiesler [2002], Mikawa [2010], Saygin [2012], Woods [2004] și alți cercetători susțin în studiile lor implicarea sistematică a utilizatorilor în toate studiile de perfecționare a structurii roboților pentru a facilita sarcinile de localizare a resurselor din biblioteci [Anderson, 2009; Dresang, 2006; Druin, 2002; Guha, 2011; Mazzone, 2008].

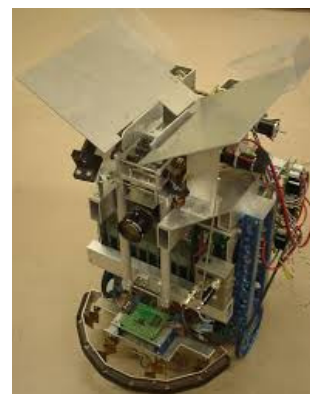
Prezenta teză pune în mod sistematic accentul pe forma de asistență robotizată destinată serviciului de localizare a resurselor.

### 2.8.2 ROBOTIZAREA ACTIVITĂȚILOR DIN BIBLIOTECI

Comparativ cu sistemul automatizat de stocare și circulație oferit de producătorii din domeniu, în continuare, se prezintă câteva inițiative de aplicarea tehnologiilor robotizate în biblioteci. Aceste realizări reprezintă cercetări de pionierat în domeniul tehnologiilor robotice și senzorilor dintre care unele se află în stadiul de prototip. Aceste aplicații sunt proiecte inovative de perspectivă care explorează noi direcții în automatizarea bibliotecilor [Iglesias, 2013].

La Universitatea *Tsukuba* din Japonia, cercetătorii au creat un robot mobil care ajută utilizatorii să caute informații în cărțile unei biblioteci, de la distanță, prin Internet (fig. 2.31). Acest sistem de consultare de la distanță a cărților permite înlocuirea persoanei care efectua această operație cu un robot. Robotul extrage de pe raft cartea, o deschide la pagina dorită și trimite imaginea acesteia în timp real la utilizator [Tomizawa, 2002; Tomizawa, 2003c].

Un alt exemplu de tehnologie robotizată destinată bibliotecilor este *Jaume*, primul robot de bibliotecă creat de o echipă de cercetare de la Laboratorul de Inteligență Robotică al *Universitat Jaume I* (UJI), Spania. Robotul este



**Fig. 2.31** Robot mobil Yamabico-Leo [Tomizawa, 2002]

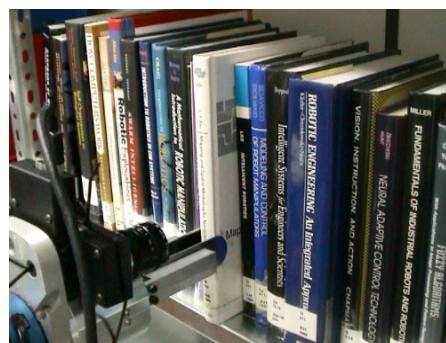
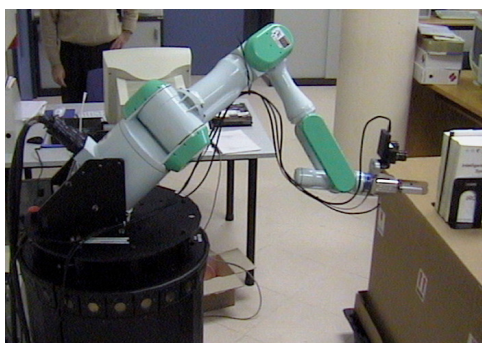


Fig. 2.32 Platforma Nomadic (stânga); prehensarea unei cărți (dreapta)[Prats, 2004a]

conceput să caute și să găsească o anumită carte iar apoi să o aducă utilizatorului.

Manipularea cărților cu ajutorul unor tehnici de prehensiune bazate pe un sistem multisenzor este încă în curs de perfecționare înainte de implementarea într-un scenariu real de bibliotecă [Ramos-Garijo, 2003; Ramos-Garijo, 2004; Prats, 2004a, Prats, 2004b].

Robotul de servicii UJI este un manipulator mobil prototip [del Pobil, 2005]. El este capabil să localizeze în mod autonom o carte dintr-o bibliotecă obișnuită, să o preia de pe raft utilizând camere video tip „eye-in-hand”, montate pe braț, și senzori de forță. Robotului i se introduce codul cărții, un plan al bibliotecii și unele date asupra structurii logice a acesteia. Acesta utilizează constrângerile spațio-temporale și regularitățile mediului de bibliotecă aplicând tehnici disparate ca stereo-vision, identificare probabilistică, estimarea mișcărilor, prehensie multisenzorială, servotehnică vizuală și control hibrid oferind performanțe robuste și sigure. Sistemul a fost testat și rezultatele confirmă că este capabil să localizeze și să furnizeze o carte în timp rezonabil fără intervenție umană.

Modelul experimental este compus dintr-o platformă mobilă Nomadic (fig. 2.32, stânga), un braț robotic 7DOF cu prehensur cu bacuri paralele Mitsubishi PA-10, și o cameră video fixată pe brațul robotic (MEGA-D – **Megapixel Digital Stereo Head**). În plus, a fost necesară o structură specială a prehensurului cu bacuri paralele (fig. 2.32, dreapta).

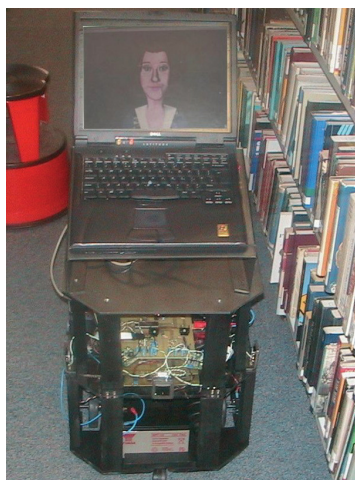
Încercări mai noi, cu acest sistem, în condițiile echipării sale cu o altă platformă PowerBot (fig. 2.33) au condus la o creștere evidentă a performanțelor, în special, a timpului necesar pentru localizarea, identificarea și extragerea unei cărți. Toate experimentele au fost efectuate cu utilizarea unui procesor Pentium IV de 1,2 GHz.

Un asistent robotizat mobil de bibliotecă a fost dezvoltat și la Universitatea din Limerick, Irlanda, sub denumirea de LUCAS (**Limerick University Computerised Assistive System**), fiind destinat să ofere asistență vârstnicilor cu handicapuri mintale sau fizice ușoare în cadrul mediului de bibliotecă [Behan, 2008]. Acest robot (fig. 2.34) dispune de o interfață grafică care afișează o imagine a unui operator uman, servind drept ghid utilizatorilor bibliotecii.

În SUA, proiectul CAPM (**Comprehensive Access in Printed Materials**) dezvoltat de cercetătorii de la *Johns Hopkins University* urmărește nu doar crearea de sisteme robotizate destinate să regăsească diverse obiecte ci și posibilitatea ca acestea să permită scanarea obiectelor. În cadrul proiectului a fost creat un sistem robotizat prototip (fig. 2.35) destinat unei clădiri (depozit) cu rafturi, în afara sediului universității.



Fig. 2.33 Platforma PowerBot în acțiune [Prats, 2005a]



**Fig. 2.34** Robotul LUCAS: Sistem computerizat de asistență [Behan, 2008]



**Fig. 2.35** Robotul din cadrul proiectului CAPM [Suthakorn, 2002]

Robotul poate fi controlat la distanță printr-o interfață Web în vederea recuperării cărților de pe raft și transportul acestora la un punct de scanare [Suthakorn, 2002]. Elementele esențiale ale acestei aplicații le constituie brațul robotic și sistemul de deplasare.

La nivel universitar, cercetările axate pe platformele Mobile Robots reprezintă o bază solidă în sensul dezvoltării de noi proiecte și un succes din punctul de vedere al experienței studenților în domeniul roboților. Mobile Robots produce roboți mobili autonomi care sunt platforme standard destinate și proiectelor de cercetare. Această firmă produce și diverse sisteme de roboți pentru servicii cum ar fi de aprovizionare, patrulă de securitate și tele-prezență.

Adept MobileRobots oferă o serie de roboți mobili, Seckur Jr., GuiaBot și PowerBot. Cei mai utilizați și mai populari roboți mobili de cercetare sunt *Pioneer 3-DX* (P3-DX) și *Pioneer 3-AT* (P3-AT) [Adept Technology Inc., 2015a; MobilRobots Inc., 2006].

În laboratorul de Informatică Virtuală și Robotică al Universității Transilvania din Brașov există platformele mobile PowerBot și Pioneer 3-AT care pot sta la baza dezvoltării de noi tipuri de sisteme pentru servicii, inclusiv, pentru biblioteci.

### 2.8.3 IDENTIFICAREA CĂRȚILOR ÎN BIBLIOTECI CU SISTEME AUTOMATE/ROBOTIZATE

Sistemele robotice, destinate manipulării cărților în cadrul bibliotecii pot utiliza următoarele metode de identificare a acestora: prin barcod; prin vedere artificială și prelucrare a imaginilor capturate; prin radiofrecvență (*Radio Frequency Identification*).

Cea mai accesibilă și convenabilă metodă este cea a identificării cărților *prin citirea barcodului*, pe care au fost stocate informații biblioteconomice necesare recunoașterii fiecărui document tipărit [\*\*\*1].

Identificarea cărților cu ajutorul barcodului este frecvent utilizată în automatizarea bibliotecilor cu un număr mai redus de documente.

*Identificarea cărților prin vedere artificială*, implică instalarea de camere video pe sistemul robotic. Acestea transmit informațiile în timp real unității de comandă. Pot fi menționate trei posibilități:

- a. Identificarea cărților prin prelucrarea imaginii și cu ajutorul tehnologiei OCR (*Optical Character Recognition*) [Ramos-Garijo, 2003; Ramos-Garijo, 2004; del Pobil, 2005; Prats, 2004a; Prats, 2004b; Prats, 2005a; Prats, 2005b; Prats, 2007].
- b. Selectarea cărții dorite de către utilizator după ce robotul suprapune imaginea captată

individual pentru fiecare carte de pe raft, cu imaginea captată a tuturor cărților în procesul de identificare [Lee, 2008]. Această posibilitate a fost dezvoltată, implementată și testată în cadrul studiilor acestei teze de doctorat.

- c. Selectarea cărții dorite de către utilizator după ce robotul calculează poziția fiecărei cărți la raft și îi atribuie un număr de ordine [Tomizawa, 2002; Tomizawa, 2003a; Tomizawa, 2003b; Tomizawa, 2003c; Tomizawa, 2004].

*Identificarea prin radiofrecvență (RFID)* este cea mai recentă și avansată metodă tehnologică de achiziție automată a datelor [\*\*\*2; \*\*\*3; Mehta, 2004; Chao, 2007], asigurând identificarea automată a cărților [\*\*\*2]. Această metodă se bazează pe stocarea și regăsirea datelor de la distanță, fără contact, printr-un câmp de radiofrecvență de putere mică. Pentru identificarea și urmărirea amplasării pe raft a cărților sunt utilizate tag-uri (etichete, cartele) RFID, dispozitive de mici dimensiuni, atașate sau integrate în fiecare carte și cititoare RFID. Comunicația dintre tag și cititorul RFID se realizează prin intermediul undelor radio.

Identificarea prin RFID este superioară, ca performanțe, în comparație cu celelalte metode de recunoaștere deoarece nu este sensibilă la poziția etichetei RFID în raport cu dispozitivul de citire. Această metodă de recunoaștere a cărții s-a dovedit foarte practică pentru sistemele robotizate de manipulare [Kim, 2008a].

Robotul de bibliotecă recepționează semnalul radio transmis de eticheta RFID care conține atât informațiile relevante cu privire la locația cărții căutate în raft și principalele date de identificare ale respectivului document. Atât rafturile cât și cărțile dispun de etichete RFID, în scopul unei orientări rapide și eficiente a robotului. Astfel robotul poate comunica cu raftul prin intermediul etichetei acestuia, fiind înregistrate toate modificările locațiilor cărților, care sunt ulterior actualizate în baza de date. De asemenea, robotul primește informațiile referitoare la dimensiunile, greutatea cărților și coeficientul de frecare bac-carte cu ajutorul etichetei atașate fiecărei cărți, fiind capabil să-și programeze operațiile necesare (prinderea, rotirea și forța de prindere cu dispozitivul de prehensiune) pentru manipularea și transportul documentului căutat.

#### 2.8.4 MANIPULAREA ȘI TRANSPORTUL CĂRȚILOR CU SISTEME AUTOMATE/ROBOTIZATE

La stabilirea gradului de complexitate al robotului destinat procesului automatizat de manipulare a obiectelor, un rol decisiv îl are felul în care acestea sunt dispuse în mediul de lucru. [Roșculeț, 1982; Barkat, 2009; Sahbani, 2012]. Același lucru este valabil și pentru procesele de manipulare a cărților [Young, 2004a]. Mișcările pe care este necesar să le execute robotul pentru manipularea cărților se determină ținând cont de poziția inițială a cărții selectate (de ex. într-un raft) și poziția ei finală (de ex. pe o bandă transportoare) [Drăgulescu, 1997]. Altfel spus, ținând cont de complexitatea traiectoriei de la selectarea cărții până la depunerea ei în punctul dorit, se determină gradele de libertate ale manipulatorului robotic.

În cadrul operațiunii de manipulare a unui obiect, robotul acționează asupra obiectului respectiv prin intermediul mecanismului de prehensiune sau a altor dispozitive cu rol asemănător [Heilala, 1992]. Performanțele sistemelor de prehensiune s-au îmbunătățit în paralel cu apariția și răspândirea unor sisteme robotice inteligente avansate [Brogårdh, 2007].

Pentru verificări experimentale se stabilesc premize simplificatoare aplicabile diferitelor situații de manipulare a documentelor:

- Caracteristicile cărților din cadrul experimentului efectuat (lungime, lățime, greutate) se stabilesc în concordanță cu performanțele mecanismului de prehensiune al manipulatorului [Suthakorn, 2002; Tomizawa, 2002; Ramos-Garijo, 2003; Tomizawa, 2003; Tomizawa, 2004; Suthakorn, 2006];
- Cărțile sunt așezate vertical pe raft, [Suthakorn, 2002; Tomizawa, 2002; Ramos-Garijo, 2003; Tomizawa, 2003; Suthakorn, 2006];



- Controlul este efectuat la distanță.

Roboții mobili autonomi dispun de un sistem de senzori performant care le permite interacțiunea cu spațiul în care operează. Sistemul de comandă al acestora dispune de planul traseelor de operare, având stocate și locațiile punctelor de lucru. Acest tip de roboți utilizează de regulă, senzori ultrasonici, infraroșii sau, în funcție de situație, vision computerizat [Kim, 2006a; Kim, 2008a; Kim, 2009] prezintă o aplicație care permite, în timp real, identificarea poziției absolute a robotului cu ajutorul unei suprafețe de deplasare, echipată cu etichete RFID pasive care servesc la evidențierea poziției instantanee a robotului.

Roboții mobili cu comandă la distanță (prin teleoperare) necesită prezența unui operator uman, aflat în afara mediului de operare al robotului. Robotul este urmărit cu ajutorul unor imagini captate de o videocameră instalată pe acesta iar comenzile, menite efectuării unor manevre, se transmit printr-o interfață grafică utilizând Internetul, un dispozitiv cablat sau în mod wireless [Tomizawa, 2002; Tomizawa, 2003a; Tomizawa, 2003b; Tomizawa, 2003c; Tomizawa, 2004].

Interacțiunea dintre robot și obiectul manipulat este asigurată de către un preensor robotic sau alte tipuri de efectori finali. Nevoia de sisteme robotice eficiente și flexibile este dublată de necesitatea creării de mecanisme avansate de prehensiune [Geleijnse, 1994]. Evoluția rapidă a manipuloarelor și roboților este caracterizată de o interconectare multidisciplinară a unui spectru larg de tehnologii [Brogårdh, 2007].

În ultimul deceniu s-au desfășurat cercetări intense vizând roboții și structurile aferente, în special în domeniul optimizării manipuloarelor și prehensoarelor [Ohya, 2002]. Deși multe tehnologii nu sunt specifice roboticii, soluțiile propuse pot fi dezvoltate și îmbunătățite în cele mai diverse domenii. Un exemplu în acest sens îl constituie biblioteca, unde apare necesitatea manipulării automatizate a obiectelor documentare (cărți, reviste, pliante, CD-uri etc.).

Soluțiile constau în utilizarea unor brațe ale unor roboți mobili și a unor manipuloare de bibliotecă destinate manevrării cărților pe raft sau în zona de servire [Suthakorn, 2002; Tomizawa, 2002; Ramos-Garijo, 2003; Tomizawa, 2004; Prats, 2008a; Kim, 2008a].

Primul robot industrial a fost introdus într-o bibliotecă din Suedia, în 1995 [Suthakorn, 2002]. Una dintre sarcinile automatizării în bibliotecă o reprezintă introducerea de procese automate de manipulare a cărților. Această sarcină devine imperios necesară din cauza numărului mare de cărți [Pastine, 1994]. Concomitent, procesele automate de manipulare vor reduce semnificativ activitățile de rutină și repetitive atât la raft cât și la punctul de împrumut.

În această lucrare, autoarea are în vedere, în special, alegerea unui preensor, precum și stabilirea celui mai potrivit sistem de manipulare și transport al cărții.

## 2.9 CONCLUZII

Prezentul capitol, dedicat unor aspecte importante legate de rolul și misiunea bibliotecilor în contextul actual pe fondul diversificării și creșterii explozive a ofertei informaționale, permite formularea unor idei și concluzii care definesc noile raporturi între biblioteci și utilizatorii lor, în contextul informatizării și robotizării continue.

Actualmente se observă o interdependență tot mai strânsă între eficiența activităților din instituțiile de învățământ și cercetare, resursele de informare și modalitățile de accesare a acestora. De asemenea, rolul bibliotecilor, ca entități desemnate să gestioneze și să dirijeze fluxurile informaționale către utilizatori, devine din ce în ce mai important.

Apare necesitatea stringentă ca bibliotecile să adopte și să implementeze sisteme informatizate și robotizate pentru managementul informației și documentelor în scopul realizării unei eficiențe maxime a serviciilor oferite. Bibliotecile se transformă treptat din simple instituții de stocare și manipulare a documentelor în parteneri activi cu implicare directă în activități educaționale și de cercetare din universități, asigurând transferul informației cu ajutorul noilor tehnologii de informare și comunicare.

În acest sens se impune necesitatea implementării unui nou cadru conceptual, atât în relațiile cu utilizatorii, cât și în cele dintre membrii personalului din bibliotecă. Perfecționarea și eficientizarea activităților preconizate în acest cadru au la bază: dezvoltarea unui model strategic cu definirea principalelor activități; adoptarea unor strategii logistice în scopul perfecționării activităților și serviciilor oferite utilizatorului; asumarea de roluri cheie de către personalul bibliotecilor în scopul promovării unei noi imagini și a unui prestigiu sporit al acestora; adoptarea și implementarea noilor tehnologii de informatizare și automatizare; realizarea unui sistem integrat de bibliotecă pentru coordonarea tuturor activităților atât a celor legate de utilizatori cât și a celor care sunt desfășurate de personalul bibliotecii.

Capitolul 2 oferă o analiză aprofundată cu privire la oportunitatea implementării tehnologiei RFID, evidențiind avantajele, dezavantajele și impactul estimat asupra activităților bibliotecii.

Analiza efectuată are la bază un studiu comparativ referitor la eficiența tehnologiei RFID aplicată în cazul lanțurilor de aprovizionare (supply chain), precum și a sistemului sanitar, aici existând numeroase similitudini cu sistemul de bibliotecă. Rezultatul analizei a relevat o serie de beneficii aduse de introducerea unui sistem RFID în biblioteca UTBv, cele mai importante fiind: reducerea la minimum a duratei operațiilor de manipulare a documentelor și a timpului de așteptare a utilizatorului; posibilitatea de urmărire și verificare permanentă a circulației documentelor; localizarea rapidă la raft a cărților; reducerea personalului implicat în manipularea documentelor. Avantajele enumerate au determinat inițierea în cadrul bibliotecii UTBv a unui proiect etapizat pe o perioadă de trei ani care prevede implementarea unui sistem integrat RFID.

Introducerea sistemelor robotizate în bibliotecile unor universități la nivel mondial (Tsukuba – Japonia, Jaume I – Spania, Limerick – Irlanda, Johns Hopkins - SUA) a deschis noi perspective de eficientizare a activităților acestora. La UTBv au fost achiziționate o serie de tipuri de roboți pentru servicii, unii dintre aceștia putând fi configurați astfel încât să corespundă cerințelor specifice din bibliotecă. Cercetările în acest domeniu vizează următoarele aspecte: realizarea unor variante capabile de a fi utilizate în aplicații noi; identificarea cerințelor și preferințelor celor două categorii de utilizatori ai roboților: utilizatorii și operatorii bibliotecari; identificarea și aplicarea celor mai adecvate soluții pentru realizarea operațiilor de manipulare și transport ale documentelor; implementarea unor soluții low-cost, orientate spre utilizator.

Acest capitol oferă o imagine de ansamblu și în ceea ce privește automatizarea bibliotecilor, modalitățile actuale de a stoca și manipula cărțile în toate sectoarele de activitate a unei biblioteci, automatizarea proceselor în acest context și, de asemenea, modalitățile de integrare a bibliotecilor clasice într-o bibliotecă digitală globală. Se prezintă etapele de dezvoltare a bibliotecilor, pornind de la faza tradițională, apoi cea informatizată, ajungând la automatizarea/robotizarea proceselor din bibliotecă și la consultarea on-line a materialelor tipărite digitizate. Sunt subliniate componentele principale ale sistemelor robotice destinate manipulării cărților în biblioteci și sunt prezentate câteva exemple de astfel de sisteme utilizate în acest scop. Pentru realizarea acestuia, se atașează sistemelor robotice dispozitive de recunoaștere a cărților ce utilizează coduri de bare, vedere artificială sau sisteme cu radiofrecvență (RFID). Interacțiunea între aceste sisteme și cărți este realizată de dispozitive de prehensiune dedicate (cu două/trei degete sau cu bacuri paralele). Deplasarea și navigarea sistemelor robotice se realizează prin teleoperare sau autonom. În scopul simplificării procesului de manipulare a cărților în biblioteci, se impun anumite condiții ajutoare referitoare la dimensiunea, masa, grosimea maximă a cărților manipulate, precum și la poziția verticală a acestora pe raft cu interstițiu între coperti sau a tipului copertii. Capitolul de față își justifică importanța pentru dobândirea aspectelor teoretice referitoare la automatizarea/robotizarea proceselor de manipulare și transport ale cărților în biblioteci, determinarea limitărilor sistemelor robotice actuale, utilizate în acest scop, cât și stabilirea cerințelor sistemelor robotice utilizate în acest context.

# 3. ROBOȚI MOBILI PENTRU SERVICII ÎN BIBLIOTECI

## 3.1 ASPECTE GENERALE

Avantajele principale care se pot obține ca urmare a automatizării prin introducerea manipuloarelor și roboților sunt:

- componentele sunt comune pentru un număr mare de roboți și pot fi produse în serii mari, cu o reducere considerabilă a costurilor și îmbunătățirea fiabilității;
- investițiile nu mai sunt legate de o aplicație concretă, roboții realizați putând fi utilizați în diferite scopuri;
- timpii de pregătire a fabricației sunt substanțial reduși, putând să se dispună de sisteme “gata pentru montare”;
- este posibilă efectuarea automatizării operațiilor legate de articole unicat sau în serii mici;
- se pot executa cu același braț manipulator operații solicitate, de obicei, de diferite utilaje și/sau procese.

Roboții mobili au multiple întrebuințări, de-a lungul timpului existând roboți mobili cu funcții diverse, de la aspirator pentru uz casnic la explorator spațial, de la vehicul ghidat automat (AGV – *Automated Guided Vehicles*), folosit în industrie, la robotul de explorare folosit doar pentru scopuri științifice.

## 3.2 TIPURI, FUNCȚII, APLICAȚII ALE ROBOȚILOR MOBILI DE SERVICII

Un robot poate fi definit ca un dispozitiv mecanic care efectuează sarcini în mod automat în baza unui program predefinit sau conform unui set de directive, în ultimul timp, folosind tehnici de inteligență artificială [Defever, 2004; Kool, 2000].

*Roboții mobili* sunt, în general, sisteme mecatronice care se pot deplasa pe suprafețe diverse. Mobilitatea oferă robotului o flexibilitate sporită de efectuare a unor sarcini în mediul de operare, care nu implică modificări ale acestuia, pentru a modifica pozițiile și orientările obiectelor în spațiul de lucru al robotului. Roboții mobili pot opera în spații în care este prezent omul și pot coopera cu acesta [Holmberg, 2000].

Un *robot mobil autonom* reprezintă un sistem automatizat care acționează pe baza unui program ce conține reguli de comportament și poate interacționa cu mediul exterior.

Roboții mobili, comparativ cu roboții ficși, prezintă următoarele caracteristici: *grad mărit de mobilitate* în spațiu, care permite urmărirea unei traiectorii variate și cu multe puncte de oprire; *agilitate*, reprezentată prin capacitatea de ocolire și trecere a obstacolelor; *manevrabilitate*, caracteristică direct dependentă de minimalizarea spațiului de manevră (viraje și întoarceri); *viteză de deplasare*, 1...10 [m/s]; *autonomie*, dependentă de sursa de energie; *telecomandare*, în vederea îndeplinirii sarcinilor în medii nocive largi.

*Roboții mobili cu roți*, frecvent utilizați în diverse domenii (industrie, agricultură, forestier, militar, utilități publice, entertainment, servicii) prezintă multiple avantaje: sunt simpli de controlat; ridică puține probleme de stabilitate; se pot deplasa în medii cu teren accidentat; prezintă consum redus de energie pe unitatea de distanță; se pot deplasa cu viteze relativ mari; pot avea implementate sisteme senzoriale complexe; au o autonomie de lucru ridicată.

*Roboții de servicii* cuprind toate tipurile de roboți cu excepția celor de uz industrial, care realizează operații în folosul oamenilor împreună cu alte echipamente auxiliare (de întreținere, reparații, curățire etc.). Aceștia pot fi cu manipulabilitate ridicată, dexteritate variată, posibilități de interacțiune, pot efectua sarcini în mod autonom și pot fi, în plus, portabili [Habib, 2006].

În tab. 3.4 se prezintă caracteristicile de bază ale roboților industriali clasici în comparație cu noile cerințe, complet diferite, impuse roboților de servicii [Jesse, 2005].

**Tab. 3.4** Comparație între caracteristicile roboților industriali clasici și ale celor de servicii

<i>Roboți industriali</i>	<i>Roboți de servicii</i>
Grad înalt de precizie	Precizie mai redusă cu adaptabilitate la schimbări ale mediului (de ex. evitarea obstacolelor)
Sarcini repetitive	Secvențe complexe de acțiune
Staționari	Mișcare liberă coordonată în mediul de operare
Spații și sarcini deterministe cu cunoașterea exactă a mediului	Spații și sarcini incerte cu identificări online pentru realizarea de sarcini în spații neașteptate
Programe deterministe, directe și clare	Programe flexibile cu inteligență computațională (rețele neuronale, logică fuzzy etc.)
Abilități de cooperare reduse sau absente	Cooperare cu oamenii și cu alți roboți
Separare totală de mediul de operare a omului	Proximitate strânsă sau integrată cu medii de operare ale omului

### 3.3 STRUCTURILE ROBOȚILOR MOBILI DE SERVICII

#### 3.3.1 STRUCTURA GENERALĂ A ROBOȚILOR MOBILI DE SERVICII

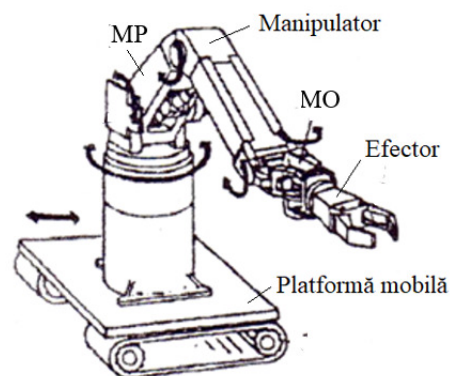
În general, un robot mobil pentru servicii este compus dintr-o platformă mobilă și un manipulator cu efector (fig. 3.7). *Manipulatorul* este compus din *mecanismul de poziționare* (MP) care are funcția de deplasare în spațiu a *mecanismului de orientare* (MO) împreună cu *efectorul* (E). Pentru îndeplinirea sarcinii de realizat, efectorul poate fi un dispozitiv de prehensiune (de prindere a obiectelor) sau un dispozitiv tehnologic (de sudură, de vopsire etc.).

*Structura platformelor mobile* depinde de tipul mediului de operare și scopul pentru care au fost concepute. În fig. 3.8 se prezintă schema generală a platformelor mobile care se pot deplasa controlat în medii de operare diverse având la bază sistemele de locomoție, senzorial și de comandă și control.

*Sistemele de locomoție* ale platformelor mobile, care asigură deplasarea robotului în mediul de lucru, pentru efectuarea operației impuse au sisteme mecanice adecvate mediului (pe roți, cu picioare etc.) și servomotoare de acționare, de obicei, electrice.

*Sistemul senzorial* are misiunea, pe de-o parte, de a percepe caracteristicile mediului în care operează și, pe de altă parte, de a determina valori ale parametrilor de stare interni ai platformei. Funcția acestui sistem poate fi realizată prin intermediul senzorilor externi (video, de proximitate, tactili, de radiații, de sunet etc.) și respectiv, interni (traductoare de poziție și de viteză).

Sistemul de comandă și control (fig. 3.8) asigură prelucrarea informațiilor, furnizate de subsistemul de control motoare și de sistemul senzorial, necesare pentru luarea deciziilor, conform programului de conducere, precum și, realizarea comunicării cu operatorul uman (direct sau indirect) și cu alte sisteme conexe [Starețu, 2010; Kevin, 2012; Dudek, 2000].



**Fig. 3.7** Robot mobil cu manipulator [Starețu, 2010]

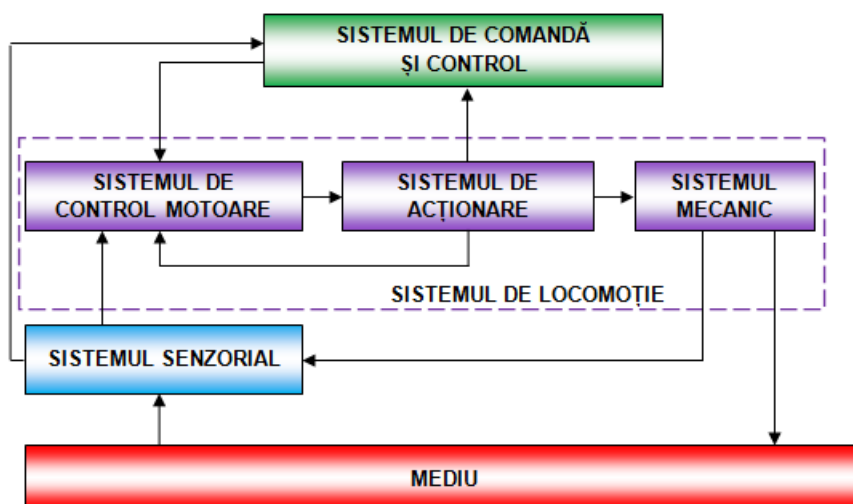


Fig. 3.8 Schema bloc generală a platformelor mobile

Lucrarea de față nu își propune să abordeze toate tipurile de roboți mobili. Pornind de la faptul că mediile de operare din biblioteci, de obicei, sunt suprafețe plane uscate (cu aderență mărită) fără denivelări, în continuare, se va insista asupra platformelor mobile cu roți, cu precădere, de tip *Pioneer* [MobilRobots Inc., 2006] și *PowerBot*, care se află și în dotarea laboratorului Realitate Virtuală și Robotică din cadrul Institutului de Cercetare al Universității *Transilvania* din Brașov.

### 3.3.2 STRUCTURI ALE PLATFORMELOR MOBILE CU ROȚI

Roboții mobili cu platforme cu roți sunt cei mai răspândiți pentru servicii datorită simplității structurilor constructive și de conducere. Pentru a se putea deplasa în mediul de operare roboții cu platforme mobile cu roți sunt acționați de servomotoare electrice prin intermediul unor transmisii mecanice care le permite mișcări controlate, bazate pe transformarea energiei electrice în energie mecanică.

Deoarece, sistemele de locomoție cu roți combină funcția de autopropulsie cu cea de virare, roțile platformelor pot fi *motoare (de propulsie)*, *de susținere, de virare (direcție)* sau combinații ale acestora.

Pentru exemplificare, în fig. 3.9 se prezintă, platforma *PowerBot*, utilizată pentru efectuarea cercetărilor experimentale prezentate în această lucrare. Aceasta dispune de două roți motoare orientate paralel, precum și două roți libere, de tip castor a căror poziționare asigură o stabilitate mărită a platformei [ActivMedia Robotics, 2003].

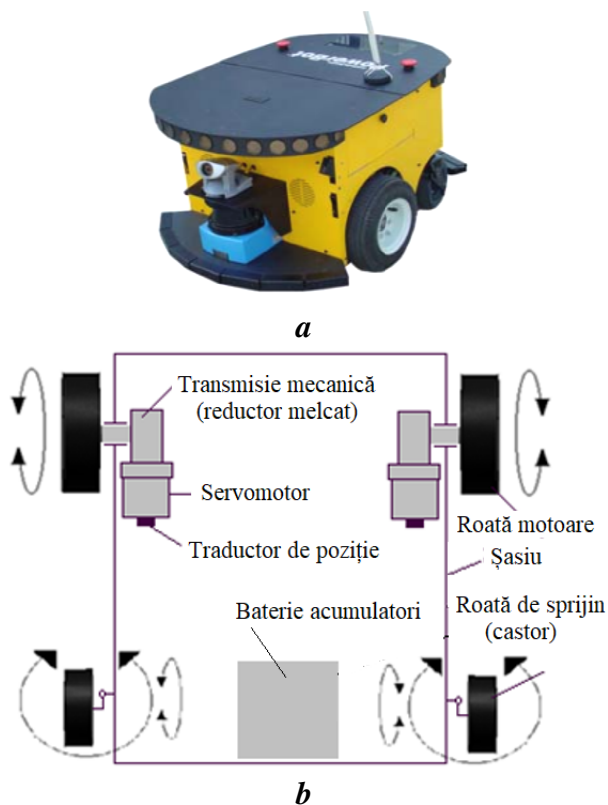


Fig. 3.9 Platformă mobilă *PowerBot* cu patru roți:  
 a – vedere generală [MobilRobots Inc., 2006];  
 b – structura sistemului de locomoție [Duguleană, 2011]

Roțile motoare sunt antrenate de servomotoare electrice care formează un sistem diferențial de propulsie și de virare.

### 3.3.3 SISTEME SENZORIALE ALE ROBOȚILOR MOBILI DE SERVICII

Pentru a putea naviga controlat în spațiul de operare, un robot mobil trebuie să dispună și de un *sistem senzorial* care permite măsurarea valorilor unor parametri interni dar și ai unora care descriu mediul de operare. Sistemul senzorial furnizează date pentru determinarea feedback-ului de comandă pentru corecția modului în care a fost efectuată comanda dată [Chivu, 2009]. Deci, funcția de percepție senzorială este destinată obținerii datelor cu privire la mediul de lucru, precum și a datelor interne ale sistemului robot [Dillmann, 2007; Bîtea, 2012].

În fig. 3.12 se prezintă schema bloc generală a sistemelor senzoriale ale roboților mobili cu manipulator.

*Senzorii interni (proprioceptivi)* sunt utilizați cu scopul monitorizării stării interne a robotului/manipulatorului prin măsurarea pozițiilor, vitezelor, accelerațiilor, tensiunilor și curenților, temperaturilor, stărilor acumulatorilor etc., cu scopul menținerii în parametrii cinematici și dinamici indicați în program și, pe de altă parte, prin sesizarea și evitarea situațiilor nedorite de funcționare (de ex. oprire în cazul coliziunii robotului cu obiecte din mediu).

*Senzorii externi (exteroceptivi)* sunt folosiți pentru identificarea și măsurarea unor parametri caracteristici ai mediului înconjurător și obiectelor din acesta (de ex. stări de mișcare, dimensiuni, forme, culori, etc.). În general, senzorii externi, montați pe platformele mobile și/sau în mediul de operare pot fi sisteme de tip *vision* (camere video 2D și/sau 3D [Bradski, 2008]) sau *non-vision*, bazați pe principii fizice diverse (mecanice, magnetice, electrice, optice, acustice, luminoase) operând prin unde electromagnetice, laser sau radio [Golnabi, 2003].

Pentru realizarea funcției de autonomie robotul mobil de servicii pe roți trebuie să fie capabil să perceapă mediul în care operează, dar și să detecteze și să ocolească obstacolele din mediul respectiv [Cuesta, 2006]. Măsurarea rapidă a distanței între robotul mobil și obstacolele înconjurătoare este, deci, de maximă importanță [Kucsera, 2007].

*Fuziunea datelor furnizate de senzori* este absolut necesară în cazul utilizării de senzori de mai multe tipuri. De exemplu, pentru navigarea în mediul de operare cu identificarea diverselor obstacole, anumite obiecte din mediu de lucru pot fi detectate cu senzori infraroșu și altele doar de senzori ultrasonici. În aceste cazuri se impune procesarea globală a informațiilor preluate de la senzori de categorii și caracteristici diferite.

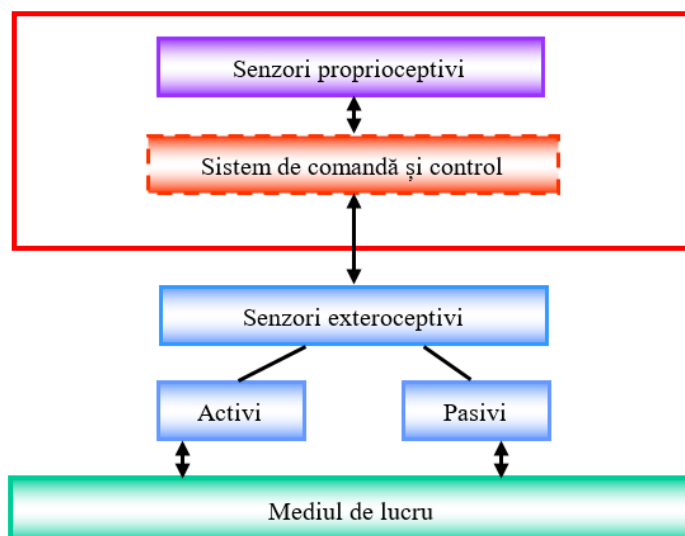


Fig. 3.12 Schema bloc generală a sistemului senzorial [Bîtea, 2012]

### 3.4 MODELAREA ȘI PLANIFICAREA TRAIECTORIILOR DE NAVIGARE/MANIPULARE ALE ROBOȚILOR MOBILI DE SERVICII

Pentru descrierea deplasării robotului mobil cu manipulator s-a recurs la descompunerea acestuia în două subsisteme: *platforma mobilă* și *manipulatorul*. În continuare, se prezintă modele generale care stau la baza programării acestui sistem, în vederea realizării sarcinilor impuse de serviciile din biblioteci.

#### 3.4.1 MODELAREA CINEMATICĂ ȘI PLANIFICAREA TRAIECTORIILOR PLATFORMELOR MOBILE CU ROȚI DIFERENȚIALE

##### 3.4.1.3 NAVIGAREA PLATFORMELOR CU ROȚI PE TRAIECTORIE

Navigația robotului, în funcție de precizia urmărită, include o multitudine de teorii și tehnologii ca de exemplu: tehnica odometriei, maparea ultrasonică și sistemul vision etc. [Rudzuan, 2012; Sugisaka, 2007; Ge, 2006]. Acestea depind și de tehnicile de navigație prin: auto-localizare, planificarea traiectoriei și interpretarea hărților.

*Odometria* este o metodă des folosită, de regulă în combinație cu alte tehnici, care presupune determinarea posturii platformei prin măsurări directe ale unghiurilor de rotire ale roților. Valorile obținute sunt folosite pentru corecția prin feedback a erorilor de deplasare.

În funcție de sarcina specifică pe care trebuie să o îndeplinească platforma, se generează (planifică) traiectoria de mișcare (de obicei, curbilinie), o funcție polinomială care trebuie urmărită prin combinarea mișcărilor motoarelor în toate punctele bazat pe legi de mișcare (viteză) cunoscute.

Urmărirea traiectoriei planificate în aplicații specifice de manipulare se poate realiza utilizând comandă punct cu punct (PTP – *Point To Point*). Autocalizarea prin odometrie permite determinarea coordonatelor poziției  $G_{k+1}$  în funcție de coordonatele poziției  $G_k$  (fig. 3.18) pe baza informațiilor date traductorii incrementali de rotație ai roților motoare. Astfel, se pot determina în funcție de unghiurile  $\lambda_s$  și  $\lambda_d$  măsurate de traductori, valorile deplasării și rotirii platformei pentru un pas, în timpul  $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ ,

$$\Delta L_m = \frac{1}{2} \cdot r (\lambda_s + \lambda_d) \Delta t, \quad (3.22)$$

$$\Delta \theta_m = \frac{1}{2} \cdot r (\lambda_s + \lambda_d) / R, \quad (3.23)$$

care se compară cu valorile teoretice ale aceluiași parametri, dar calculați cu relațiile,

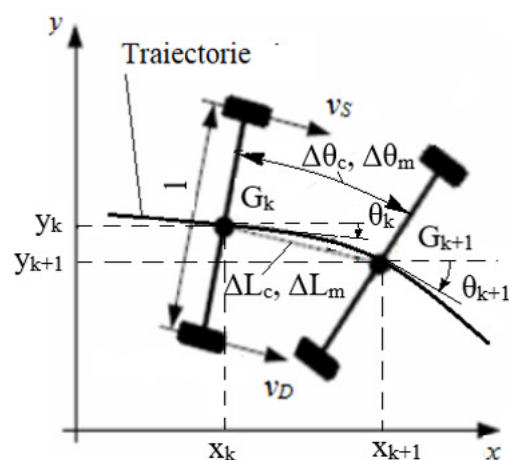


Fig. 3.18 Urmărirea PTP a traiectoriei platformei

$$\Delta L_c = \frac{1}{2} (\omega_s + \omega_d) R \Delta t, \quad (3.24)$$

$$\Delta \theta_c = \frac{v_d - v_s}{l} \Delta t. \quad (3.25)$$

În cazul programărilor din această lucrare, pentru platforma mobilă cu patru roți s-au considerat perioade de eșantionare  $\Delta t = 0,1s$  corespunzătoare deplasării în spații interioare înguste [Ivanjko, 2007].

### 3.4.2 MODELAREA CINEMATICĂ A MANIPULATOARELOR ROBOȚILOR MOBILI CU PLATFORME CU ROȚI DIFERENȚIALE

O serie de aplicații recente implică sarcini de manipulare cu sisteme alcătuite dintr-o platformă mobilă echipată cu manipulator. Mișcarea acestor sisteme prezintă numeroase probleme specifice generate de cuplarea manipulatorului cu platforma mobilă.

În cazul studiilor din cadrul acestei teze de doctorat, având în vedere specificul aplicației de manipulare a cărților, s-a considerat că platforma mobilă se deplasează pe o suprafață plană până în proximitatea raftului și după oprirea acesteia, manipulatorul preia/depune cartea într-o postură impusă. Astfel mișcările de manipulare se vor studia independent, necorelat cu mișcarea platformei mobile.

#### 3.4.2.1 MODELAREA GEOMETRICĂ

Pentru manipularea cărților și a materialelor de informare/documentare, se va considera un braț manipulator plan, cu trei cuple de rotație montat pe o platformă mobilă cu roți diferențiale (fig. 3.19).

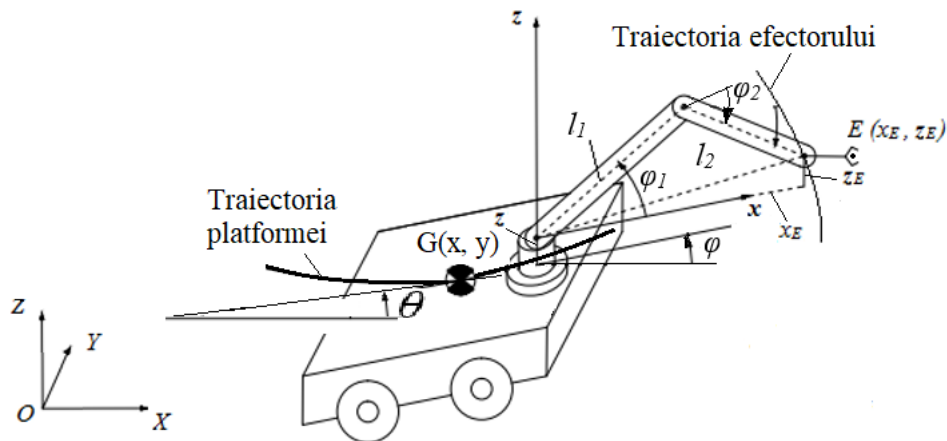


Fig. 3.19 Model geometric al manipulatorului

Coordonatele carteziene ale efectorului final  $E$  relativ la sistemul de coordonate al manipulatorului,  $xz$ ,

$$x_E = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2, \quad (3.26)$$

$$z_E = l_1 \sin \varphi_1 - l_2 \sin \varphi_2 \quad (3.27)$$



unde,  $l_1$  și  $l_2$  reprezintă lungimile brațelor,  $\varphi_1$  și  $\varphi_2$  - unghiurile cuplelor de rotație. Aceste relații formează modelul geometric direct.

Poziția finală a efectorului, în raport cu sistemul de coordonate global depinde de poziția coordonate centrului platformei ( $x$ ,  $y$ ), de unghiul de orientare al acesteia ( $\theta$ ), de cota primei cuple a manipulatorului ( $z_E$ ) și de unghiul de orientare a acestuia ( $\varphi$ ). Aceasta ilustrează faptul că manipuloarele mobile, spre deosebire de cele fixe, dispun de spații de lucru teoretic infinite.

Din ecuațiile cinematice directe, (3.26) și (3.27), se pot determina relațiile de calcul unghiurilor  $\varphi_1$  și  $\varphi_2$  care corespund unei poziții finale prestabilite a efectorului ( $x_E$ ,  $y_E$ ). Aplicând metoda analitică, bazat pe teorema cosinusului rezultă,

$$\varphi_1 = \arccos \frac{l_1^2 + x_E^2 + z_E^2 - l_2^2}{2l_1 \sqrt{x_E^2 + z_E^2}} + \arccos \frac{x_E}{\sqrt{x_E^2 + z_E^2}}, \quad (3.28)$$

$$\varphi_2 = \pi - \varphi_1 - \arccos \frac{l_1^2 + l_2^2 - (x_E^2 + z_E^2)}{2l_1 l_2} \quad (3.29)$$

Aceste relații constituie modelul geometric invers.

### 3.4.2.2 MODELAREA CINEMATICĂ

Relațiile (3.26) și (3.27) în formă matricială,

$$\begin{bmatrix} x_E \\ z_E \end{bmatrix} = l_1 l_2 \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & \cos \varphi_2 \\ \sin \varphi_1 & -\sin \varphi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix}, \quad (3.30)$$

derivate în raport cu timpul conduce la relația modelului cinematic direct, în formă sintetică,

$$v_E = J \dot{\varphi} \quad (3.31)$$

în care,

$$J = l_1 l_2 \begin{bmatrix} \frac{d(\cos \varphi_1)}{d\varphi_1} & \frac{d(\cos \varphi_2)}{d\varphi_2} \\ \frac{d(\sin \varphi_1)}{d\varphi_1} & -\frac{d(\sin \varphi_2)}{d\varphi_2} \end{bmatrix} = l_1 l_2 \begin{bmatrix} -\sin \varphi_1 & -\sin \varphi_2 \\ \cos \varphi_1 & -\cos \varphi_2 \end{bmatrix}, \quad (3.32)$$

reprezintă matricea Jacobi,

$$v_E = \begin{bmatrix} \dot{x}_E \\ \dot{z}_E \end{bmatrix}, \quad (3.33)$$

cu  $\dot{x}_E$  și  $\dot{z}_E$ , componentele vitezei efectorului în raport cu sistemul de coordonate al manipulatorului,

$$\dot{\varphi} = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \end{bmatrix}, \quad (3.34)$$

cu  $\dot{\varphi}_1$  și  $\dot{\varphi}_2$ , vitezele unghiulare ale cuplelor manipulatorului.

Din relația (3.28) prin înmulțire cu inversa matricei Jacobi ( $J^{-1}$ ) se obține relația modelului cinematic invers,

$$\dot{\varphi} = J^{-1}v_E, \quad (3.35)$$

în care,

$$J^{-1} = l_1 l_2 \begin{bmatrix} \sin \varphi_2 & \sin \varphi_1 \\ \cos \varphi_2 & -\cos \varphi_1 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

### 3.5 DESCRIEREA, MODELAREA ȘI RECUNOAȘTEREA MEDIULUI DE LUCRU

Una din problemele dificile, care are o influență decisivă asupra localizării unui robot mobil este *recunoașterea mediului* de lucru care poate fi static (bine structurat) sau dinamic (nestructurat). Altfel exprimat, în mediile statice doar roboții au mișcări, celelalte obiecte rămânând mereu în aceleași poziții. Mediile statice au majoritatea caracteristicilor matematice deterministe și permit realizarea unor estimări probabilistice eficiente.

Mediile dinamice cuprind obiecte, altele decât robotul, a căror locație sau configurație se schimbă în timp. Exemplele cele mai potrivite în acest sens sunt mediile din bibliotecii care includ și utilizatorii ca obstacole deplasabile și obiecte fixe (piese de mobilier, scaune etc.). Din cauza erorilor multiple, modelelor matematice mai complexe și limitării la nivelul senzorilor, localizarea și navigarea în medii dinamice sunt evident mai dificile decât în mediile statice.

#### 3.5.1 RECUNOAȘTEREA MEDIULUI PRIN SISTEME VISION

Roboții mobili de servicii care acționează în medii cu operatori/utilizatori umani (de ex., ghizi sau oameni de ordine), fiind dotați cu abilități de recunoaștere video, sunt mai eficienți dacă pot distinge noii utilizatori de cei mai vechi sau utilizatorii, de membrii personalului administrativ. În plus, capacitatea de a identifica oameni le conferă roboților un anumit grad de „intelligență” [Dautenhahn, 1995], deoarece ei se pot adapta mai bine la comportamentul uman.

Majoritatea roboților mobili pentru servicii existenți, prevăzuți cu sisteme de recunoaștere cu sisteme vision, funcționează în doi pași:

- selectarea zonei (cadrului) care se impune să fie recunoscut, inclusiv, cu obstacole care se descriu prin postură, mărime și trăsături video;
- recunoaștere standard cu pachete software dedicate în corelație cu o bază de date fixă, cu imagine de referință [Asoh, 2001; Cielniak, 2003; Liu, 2005].

Din păcate, această abordare nu sesizează evoluția în spațiu a scenei de identificat. Acest dezavantaj se poate diminua prin îmbunătățirea sistemului de recunoaștere al robotului [Bellotto, 2010]. Recent, o serie de autori [Lee, 2003; Mucientes, 2001; Qu, 2004] au analizat informațiile asupra obiectelor în mișcare obținute cu o cameră CCD (*Charge Coupled Device*) fixată pe partea superioară a robotului mobil.

Recunoașterea persoanelor presupune detecția și interpretarea caracteristicilor biometrice [Jain, 2004]. Multe soluții bazate pe sisteme vision fac uz de algoritmi pentru recunoașterea feței [Turk, 1991; Zhao, 2003; Zhou, 2002], sau în anumite cazuri pe analiza posturilor corpului [Cunado, 2003; Nakajima, 2003]. Cu toate acestea există doar câteva sisteme vision de recunoaștere implementate pe roboți mobili reali, deoarece abilitățile lor de percepere sunt limitate de volumele mărite ale calculului de procesare, de incertitudine de observare, și de modificările incerte ale mediului [Asoh, 2001, Cielniak, 2003; Bennewitz, 2005].

Pentru a reduce incertitudinile și a îmbunătăți redundanța, pot fi integrate două sau mai multe camere video. Abordările euristice sunt utilizate uneori pentru a estima pozițiile obstacolelor mobile, folosind roboți mobili echipați cu senzori laser și camere video [Scheutz, 2004].

### 3.5.2 MODELAREA ȘI RECUNOAȘTEREA MEDIILOR DE LUCRU PRIN SISTEME NONVISION

Prezenta lucrare descrie o metodă de soluționare a problemei expusă mai sus prin utilizarea senzorilor ultrasonici capabili să măsoare distanțe între robotul mobil și obiectele din jurul acestuia. Mișcările unui obiect sunt detectate cu ajutorul senzorilor de tip sonor, după care se estimează poziția obiectului în mișcare. Prin utilizarea datelor referitoare la distanțe se poate estima poziția robotului în raport cu sistemul de coordonate absolut.

Modelarea mediului în care evoluează robotul presupune determinarea formelor, pozițiilor și dimensiunilor obiectelor și obstacolelor (pereți, uși, mobilier etc.), care stau la baza elaborării unei hărți necesare pentru planificarea traseelor de navigare. Problema navigării roboților mobili în mediile în care operează, în general, presupune parcurgerea următoarelor etape: generarea unei hărți locale (cartografierea, maparea); planificarea traiectoriei de navigare (programarea robotului); localizarea (relativă sau absolută) bazată pe senzori de percepție; urmărirea traiectoriei (controlul mișcării). În practica modelării mediilor de operare, primele două etape, fiind strâns legate, se realizează, de obicei, simultan, sub denumirea de *localizare și mapare simultană* (SLAM – *Simultaneous Localization And Mapping*).

## 3.6 ROBOȚI MOBILI INTELIGENȚI PENTRU SERVICII

Spre deosebire de roboții ficși la care spațiul de lucru este adaptat sarcinilor robotului, de obicei, cu succesiuni de operații repetitive, *roboții mobili de servicii* trebuie să se adapteze la stările impuse de mediul în care operează, deseori fiind în situații de a adopta decizia optimă utilizând inteligența proprie. Crearea de sisteme de navigare inteligente pentru roboții mobili, în scopul atingerii unei navigări eficiente și lipsite de coliziuni reprezintă obiectivul central al multor proiecte de cercetare-dezvoltare [Defever, 2004].

### 3.6.1 ROBOȚI MOBILI CU AUTONOMIE TOTALĂ

*Autonomia totală* a unui robot mobil se referă la “capacitatea acestuia de a executa independent sarcinile ce-i sunt date apriori, fără intervenția unui operator uman. Dacă în executarea sarcinilor sale, robotul întâlnește situații pentru care nu a fost programat, este imperativ necesar ca el să continue să funcționeze corect, fără intervenție exterioară”. Un *robot cu autonomie totală* este capabil să detecteze obiectele cu ajutorul senzorilor exteroceptivi (vision și/sau non-vision) și să proceseze informația pentru a se putea lua decizii și în cazurile incerte care apar în timpul operării în spațiul de lucru.

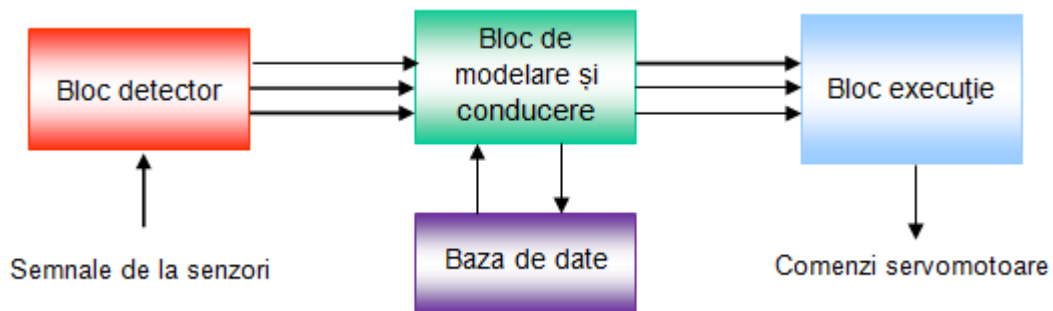
Roboții mobili de servicii trebuie să poată comunica cu utilizatorii și cu alte sisteme tehnice, inclusiv cu alți roboți, să proceseze și să interpreteze datele de la senzori, să sintetizeze modelul de mediu, să monitorizeze starea mediului, să planifice activități cu obiective (certe și, uneori incerte) și să le realizeze. Este evident că aceste caracteristici corespund cerințelor generale impuse roboților inteligenți care sunt sisteme multifuncționale cu adaptare la condițiile specifice impuse de mediul în care operează.

În vederea conducerii roboților cu autonomie totală se urmăresc principiile generale ale funcționării și comportamentului ființelor umane și/sau crearea de infrastructuri specifice și de informare. Deci, roboții cu autonomie totală prevăzuți cu sisteme de senzori similare cu ale simțurile umane, pot avea sisteme de vedere omnidirecțională simultan, pot măsura

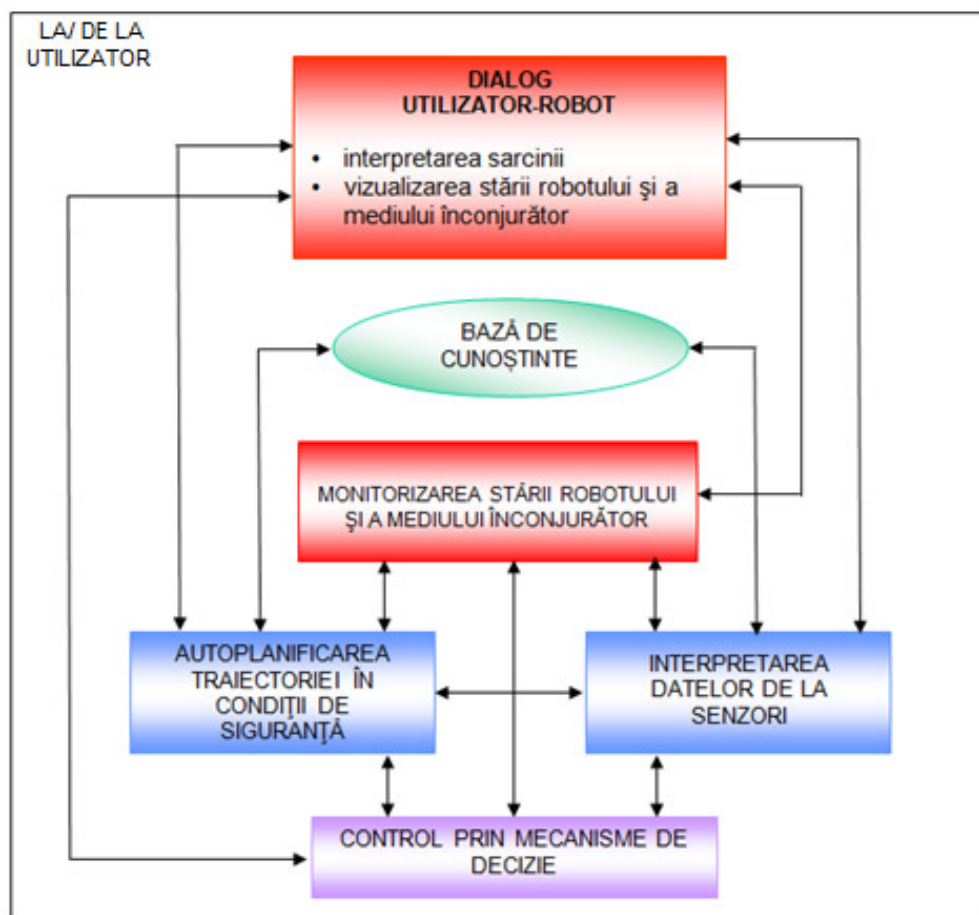
distanțele cu mare precizie și pot reține (memora) posturile și stările obiectelor înconjurătoare. Astfel, se pot dezvolta baze de date și de cunoștințe care stau la baza dezvoltării sistemelor cognitive cu învățare [Rybak, 2009].

### 3.6.2 ROBOȚI MOBILI COGNITIVI CU ARHITECTURI DE CONDUCERE DISTRIBUITE

În fig. 3.22 se prezintă arhitectura de conducere a roboților mobili clasici care iau decizii bazat pe date frecvent deterministe. Se observă că aceasta are la bază un flux de date unidirecțional de la senzori spre comanda servomotoarelor [Nilsson, 1998; Murphy, 2000; Ollero, 2001]. Această variantă prezintă procesarea independentă a datelor de către subsistemele senzorială și de comandă și control.



*Fig. 3.22 Arhitectura sistemelor de conducere ale roboților mobili necognitivi*



*Fig. 3.23 Arhitectura sistemelor de conducere ale roboților mobili cognitivi*

În ultimul timp s-au dezvoltat roboți mobili cu noi arhitecturi, bazate pe cunoștințe care implică cooperarea diferitelor subsisteme, numite „*arhitecturi distribuite bazate pe cunoștințe*” [Rybak, 1987; Murphy, 2000; Ollero, 2001].

Arhitectura *distribuită bazată pe cunoștințe* prezentată în fig. 3.23 diferă de cea din fig. 3.22, prin comunicarea bidirecțională care asigură interacțiuni directe între subsistemele robotului. Feedback-urile realizate în cadrul comunicărilor bidirecționale între blocul senzorial (detector) și cel de execuție, nu sunt identice cu schimbul de date între subsisteme în urma transformărilor produse în mediul de operare precum și a schimbărilor stărilor robotului și/sau ale proceselor dezvoltate. Această arhitectură asigură cooperarea tuturor subsistemelor prin dialogul utilizator-robot, prin verificarea stărilor robotului și mediului și autoplanificarea traiectoriilor și controlul distribuit (în paralel).

Informațiile de conducere a roboților sunt bazate pe cunoștințe reprezentate prin declarații condiționale (*If Than Else*) care descriu corelații între diverse stări spațiale curente ale robotului, mediului și subsistemelor acestuia. Aceste declarații sunt stocate în baza de cunoștințe și sunt analizate în blocul de monitorizare a funcționării. Stările robotului, mediului și subsistemelor se stabilesc ca urmare a procesării informației provenite de la senzori proprio și exteroceptivi.

Pentru definirea cunoștințelor toate subsistemele și stările acestora sunt descrise prin coduri specifice care sintetizează denumiri, poziții, sisteme de coordonate, parametrii de control etc.

În cadrul arhitecturilor de conducere cognitive comanda și controlul robotului se face prin decizii bazate pe mecanisme de raționare (inferență) specifice inteligenței artificiale (sistemelor expert). În plus, în ultimul timp aceste arhitecturi sunt dezvoltate cu subsisteme de autodezvoltare prin învățare.

### 3.7 ALEGEREA ROBOȚILOR MOBILI PENTRU SERVICII ÎN BIBLIOTECI

Alegerea unui robot mobil pentru servicii este un demers multidisciplinar, care implică aspecte tehnice, atitudini umane (ale operatorului și/sau utilizatorului), interacțiuni om-mașină precum și probleme de mediu. În general, problemele ridicate de roboții pentru servicii pot fi sintetizate, pe de-o parte, prin cerințele de funcționare împreună cu utilizatorii umani sau oferind numai servicii pentru aceștia în condițiile unor comportamente adecvate și prietenoase și, pe de altă parte, prin efectuarea sarcinilor de lucru în condițiile unor moduri de operare simple și la costuri reduse.

Alegerea roboților de servicii în biblioteci se realizează în funcție de acțiunile pe care aceștia trebuie să le îndeplinească: detectarea unui utilizator, răspunsul la întrebările utilizatorului, urmărirea utilizatorului, navigarea către o anumită locație, detectarea unui obiect (carte, revistă, CD etc.), prinderea, manipularea și transportul acestuia.

De asemenea, se va ține cont de siguranța în interacțiunea cu utilizatorii umani și de funcționarea corectă și robustă (toleranță la schimbările neașteptate de mediu, nivel scăzut de erori), de capacitățile de mișcare și de detectare, pentru punerea în aplicare a setului de comportamente (sarcini) impuse. Roboții de servicii în bibliotecă trebuie să fie în măsură să răspundă în mod continuu la evenimentele date de interacțiunea cu utilizatorul și schimbările mediului înconjurător.

Pentru a oferi asistență utilizatorului, îndeplinind funcții de bază ale unui bibliotecar, servind drept ghid în bibliotecă (de ex. să îl întâmpine la fel ca un operator uman, să poarte conversații cu acesta în limbaj natural, să găsească resurse din catalogul online sau din bazele de date și să ofere rezultatele cercetării cu ajutorul unui monitor) și pentru a putea evolua în mediul de lucru robotul pentru servicii în biblioteci trebuie să fie un sistem multifuncțional și să posede un anumit nivel de inteligență.

Robotul mobil trebuie să poată comunica cu utilizatorul și cu alte sisteme tehnice, inclusiv cu alți roboți, să proceseze și să interpreteze datele de la senzori, să sintetizeze harta mediului, să monitorizeze starea acestuia, să planifice activități cu obiectiv precis și să le realizeze, ca de ex.: organizarea cărților prin extragere și reintroducere în raft, în ordinea corespunzătoare; să caute și să găsească o anumită carte iar apoi să o aducă utilizatorului; să fie capabil să localizeze și să furnizeze o carte în timp rezonabil, fără intervenție umană; să poată recupera cărți de pe raft și să le transporte la un punct de scanare etc.

### 3.8 CONCLUZII

În acest capitol, au fost prezentate sintetic aspecte privind noile tendințe în domeniul cercetării sistemelor robotice, care se direcționează, mai ales, pe roboți mobili autonomi și semiautonomi, capabili să opereze în medii nestructurate, încadrându-se astfel în clasa roboților de servicii care pot simplifica, în mod substanțial, viața de zi cu zi a multor oameni.

Acești roboți deschid noi perspective de aplicații în robotică, datorită introducerii lor în domenii non-tehnice. În acest context au fost prezentate particularitățile și domeniile de aplicabilitate, în funcție de tipul robotului.

De asemenea, pe parcursul acestui capitol au fost analizate structura generală, sistemele senzoriale, precum și sistemele de comandă și control ale roboților mobili, în vederea conceperii/alegerii, dezvoltării și implementării unor roboți pentru servicii, care să fie acceptați și exploatați, în mod eficient, de către utilizatorii fără pregătire tehnică.

Având în vedere că spațiile din biblioteci dispun, de regulă, de suprafețe de rulare plane uscate (cu aderență crescută) lipsite de denivelări, în această lucrare s-a pus accentul pe studiul platformelor mobile cu roți, care vor sta la baza dezvoltării unor roboți de informare/documentare, manipulare și transport.

Îndeplinirea sarcinilor care revin acestora, în cadrul serviciilor din bibliotecă, impune programarea sistemelor robotice (platforme mobile cu roți diferențiale și manipolatoare), conform unor modele cinematice, descrise în lucrarea de față, pentru planificarea traseului, controlul mișcării, navigarea roboților și pentru urmărirea traiectoriei de manipulare.

Recunoașterea mediului de informare/documentare de către roboții de servicii, fie că se realizează prin sisteme vision sau nonvision este esențială în satisfacerea nevoilor reale ale utilizatorilor bibliotecii, motiv pentru care este prezentată modelarea acestuia.

Implementarea roboților în diverse servicii, inclusiv cele din biblioteci, concepția și dezvoltarea de aplicații specifice impun ca atât cerințele cât și obiectivele urmărite să fie atent examinate în ceea ce privește proiectarea, funcționarea și integrarea. În acest capitol sunt examinate principalele aspecte și dificultăți cu privire la problematica specifică domeniului serviciilor bibliotecare. Aspectele cheie care rezultă ca urmare a creării unor sisteme robotizate care să fie acceptate și exploatate în mod eficient de către utilizatorii obișnuiți, pot fi privite ca probleme tehnice specifice pentru sisteme low-cost, orientate spre utilizator dar, mai ales, din perspectiva interacțiunii om-mașină.

În general, principalele problemele ridicate de roboții pentru servicii sunt: funcționare împreună cu/sau pentru utilizatorii umani, în condițiile unui comportament cât mai natural; efectuarea serviciilor în condițiile unor moduri de operare simple și la costuri reduse.

Succesul unui robot mobil pentru servicii în bibliotecă impune existența unor performanțe de autonomie completă (planificare, navigare, localizare) care se referă la capacitățile de a se deplasa în mediul de bibliotecă (static și dinamic), de a atinge anumite ținte, de a evita obstacolele din acest mediu, de a interacționa cu utilizatorii.

# 4. MODELAREA ȘI PROIECTAREA PROCESELOR DE PREHENSIUNE ȘI MANIPULARE ROBOTIZATĂ A CĂRȚILOR

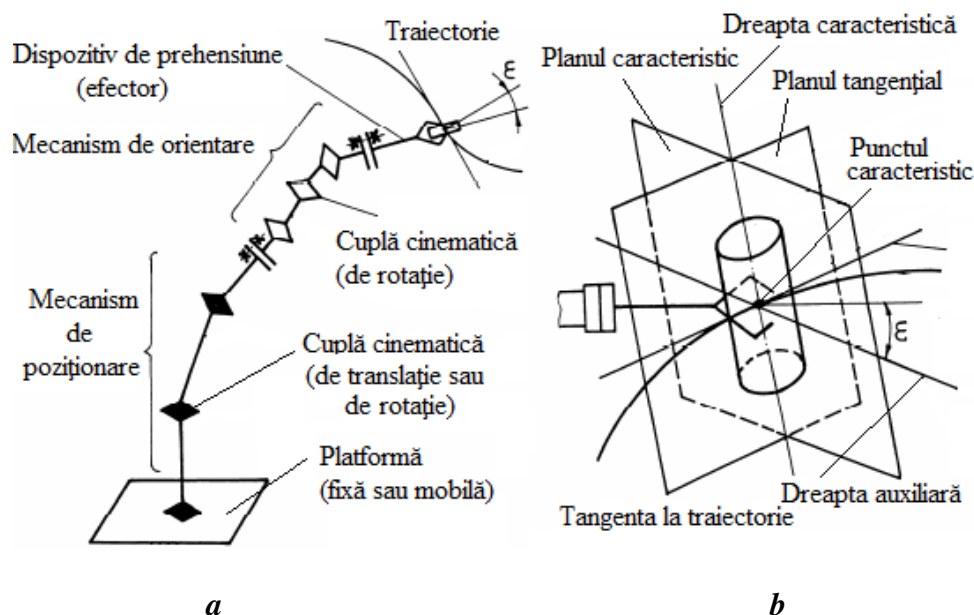
## 4.1 INTRODUCERE

Activitățile de manipulare la locul de muncă pot fi grupate în următoarele operații/faze: *de pregătire* (manipularea materialelor în vecinătatea locului/punctului de utilizare); *de poziționare* (depunerea și orientarea materialelor în locații precise, în dispozitivul de prindere sau în mașina unealtă); *de îndepărtare* (scoaterea din dispozitivul de prindere, menținerea lor în poziția adecvată pentru mutarea la locul de procesare/muncă următor); *de transport* (deplasarea la un loc de procesare). Manipularea materialelor la locul de muncă (procesare) nu este doar monotona, oboseitoare dar implică și aspecte legate de siguranța fizică a operatorilor. Pe de altă parte, timpul care poate fi redus în cadrul manipularilor conduce la creșterea productivității. În acest context, *manipularea robotizată* este utilizată din ce în ce mai mult în mediile industriale și de servicii.

## 4.2 MANIPULAREA ȘI TRANSPORTUL ROBOTIZAT A OBIECTELOR SOLIDE

În cadrul, mediilor industriale, inclusiv în biblioteci, manipulare și transportul robotizat a obiectelor solide (inclusiv, a materialelor de informare și documentare) reprezintă procese independente care implică: conceptul sau metoda de adoptat, tipurile de echipamente folosite, operațiuni implicate (ambalare/dezambalare, deplasare și stocare), mentenanța necesară echipamentului, modul de transportare a materialelor etc.

*Manipularea robotizată* în spații de lucru industriale sau de servicii se face prin intermediul unui manipulator (fig. 4.1,a) care datorită mecanismelor de poziționare și de orientare deplasează obiecte pe o traiectorie raportată la platforma manipulatorului considerată ca fiind fixă.



**Fig. 4.1** Structura generală a unui manipulator: *a* – manipulator serie cu prehensur; *b* – parametri de orientare [Mogan, 2003]

Spațiul de manipulare în cazul manipulatorului cu platformă fixă este redus fiind limitat de dimensiunile brațelor manipulatorului. În cazul în care platforma manipulatorului este mobilă spațiul de manipulare este mult mărit și se poate considera că se realizează și o operație de *transport intern robotizat*. În timpul operației de manipulare/transport obiectul este fixat într-o poziție strict definită, în partea de execuție a manipulatorului, într-un dispozitiv de prehensiune (fig.4.1).

*Dispozitivul de prehensiune* sau, pe scurt, efectorul (prehensorul) este elementul final al sistemului mecanic al manipulatorului robotului (fig. 4.1b), care acționează direct asupra obiectului de manipulat. Acesta este atașat mecanismului de orientare și are funcția de prehensiune (prindere, menținere și eliberare) a obiectului de manipulat (semifabricat, piesă, carte) sau a dispozitivului tehnologic (cap de sudură, pistol devopsire, polizor, instrument de măsurare etc.) [Abdelmalek, 2005].

Obiectivul comun al diferitelor procese de manipulare și/sau de transport implică adoptarea de soluții cu costuri minime. În practica curentă, inclusiv cea care implică operațiile de manipulare și/sau de transport a materialelor în biblioteci (cărți, broșuri, pliante etc.), pentru îndeplinirea acestui obiectiv se impune *tratarea sistemică* a acestor procese pentru a asigura soluții eficiente atât din punct de vedere al performanțelor precum și al timpilor de operare.

### 4.3 PREHENSIUNEA OBIECTELOR SOLIDE

În general, un robot interacționează fizic cu mediul de operare, prin executarea succesivă sau simultană a două acțiuni, prima, de realizare a unei configurații de contact cu obiecte/materiale și, a doua de mișcare conform unui plan de intervenție preliminar stabilit. Studiul procesului de prehensiune ca acțiune specifică roboticii presupune modelarea și determinarea interacțiunii dintre un robot și un corp (obiect) în vederea manipulării/transportului acestuia de către robot dintr-o poziție în alta.

Prehensiunea se realizează cu ajutorul dispozitivului de prehensiune (efectorul robotului) care este partea finală a sistemului mecanic al robotului și realizează acțiunea directă asupra obiectului de manipulat.

Procesul de *prehensiune* a unui obiect presupune următoarele etape:

- *apucarea (prinderea)* după poziționarea (centrarea) prehensorului în raport cu obiectul (static sau mobil);
- *fixarea* în raport cu elementele de apucare (bacuri, degete) prin acționarea motorului prehensorului și realizarea contactului direct (imobil) dintre aceste elemente și obiect;
- *menținerea fixării* obiectului în timpul procesului de manipulare/transport;
- *eliberarea* (desprinderea) după poziționarea prehensorului în poziția finală prin încetarea acționării motorului prehensorului și întreruperea contactului dintre elementele de apucare (bacuri, degete) și obiect.

Dispozitivele de prehensiune cu rolul de a prinde obiecte de diferite mărimi și caracteristici, se proiectează și/sau se aleg pe grupe de caracteristici, sunt interschimbabile și nu fac parte din structura de bază a robotului.

#### 4.3.2 CARACTERISTICILE ȘI PERFORMANȚELE DISPOZITIVELOR DE PREHENSIUNE

Caracteristicile proceselor și dispozitivelor de prehensiune cu precizarea unor aspecte legate de performanțe sunt prezentate în continuare.

Valoarea *sarcinii* (capacitatea de încărcare nominală) reprezintă cea mai mare masă a obiectului care poate fi manipulată cu menținerea prehensiunii în orice configurație a structurii și în condițiile dinamice extreme de deplasare.

*Forța de strângere*, în funcție de natura obiectului de prehensat (elastic, fragil, rigid



etc.), poate fi constantă, prestabilită, sau trebuie să se autoadapteze la cazul concret. În cazul unui prehsor cu bacuri (fălci) paralele prinderea este, de obicei, fără control a forței de strângere (prinderea fiind prin blocare), asigurată de motorul de acționare.

*Precizia de prehensiune (prindere)* se poate aprecia la nivel global, prin precizia de poziționare,  $e$  (fig. 4.11), se referă la abilitatea unui robot cu prehsor de a aduce punctul caracteristic al dispozitivului de prehensiune, împreună cu obiectul, într-o poziție țintă, specificată în programul de lucru, și precizia de repetabilitate,  $r$  (fig. 4.11) ca măsură a capacității robotului cu prehsor de a reveni de fiecare dată într-o poziție care a mai fost atinsă anterior.

Prinderea unui obiect în vederea manipulării presupune *stabilitate* (menținerea poziției invariabilă față de prehsor pe tot parcursul manipulării). În timpul manipulării apar perturbații (forțe exterioare accidentale) care, pot modifica echilibrul forțelor de prindere și, în consecință, pot apărea mișcări ale obiectului, prinderea devenind instabilă.

*Dexteritatea* unui dispozitiv de prehensiune este dată de capacitatea potențială de a prinde obiecte cu mase și dimensiuni reduse, pe de-o parte, și de capacitatea reală de a pune în practică aceste posibilități prin intermediul sistemelor de acționare, de comandă și control, pe de altă parte [Ma, 2011].

*Versatilitatea* unui dispozitiv de prehensiune este dată de capacitatea de a realiza diverse funcții și de a produce diverse operații de prehensiune în cazul unor aplicații impuse. Realizarea unor cerințe specifice cum ar fi cele legate de manipulare, de măsurare, de identificare a obiectelor se poate face cu dispozitive de prehensiune specializate. Versatilitatea mărită a unui dispozitiv de prehensiune se evidențiază prin multiple posibilități și facilități de prindere a obiectelor de forme și dimensiuni diferite.

#### 4.4 STRUCTURI CONSTRUCTIVE ALE DISPOZITIVELOR DE PREHENSIVNE

Majoritatea dispozitivelor de prehensiune robotice sunt echipate cu două bacuri de prindere (gheare, fălci) sau cu două degete de prindere și servesc la operații de manipulare a obiectelor cu forme diverse. Actual dispozitivele de prehensiune sunt produse specializate (comerciale) care se pot adapta pentru prinderea unuia sau mai multor obiecte cu forme asemănătoare, dimensiuni și greutate apropiate.

Prehensoarele cu două bacuri (degete) sunt cele mai utilizate în aplicațiile industriale și din servicii datorită simplității constructiv, multiplelor posibilități de configurare de prindere a obiectelor și caracteristicilor de instalare și utilizare.

Dispozitivele de prehensiune au la bază mecanisme elementare cunoscute: cu pârghii articulate, culise oscilante, pinion cremalieră, melc roată melcată, camă-tachet etc. Mecanismele care asigură mișcările a două bacuri sunt cel mai frecvent utilizate datorită simplității de constructive și a caracteristicilor de funcționare și montare [Deaconescu, 2011].

Prehensoarele cu mișcare plan-paralelă, se pot realiza fie pentru ambele bacuri mobile sau fie doar cu unul singur, celălalt fiind fix.

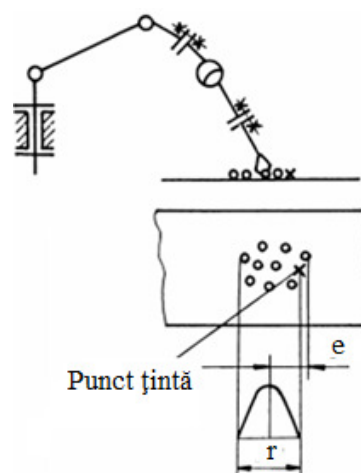


Fig. 4.11 Precizia manipulatorului cu prehsor

## 4.5 DISPOZITIVE DE PREHENSIUNE PENTRU CĂRȚI ȘI MATERIALE DE INFORMARE

Problemele legate de manipularea obiectelor solide sunt, de regulă, rezolvate în robotică pentru sarcini bine cunoscute și geometrii standard ale structurii brațelor articulate, în general, capabile să satisfacă condiții foarte variate. De aceea, dintr-o perspectivă mai generală, problema manipulării cărților pare să permită o abordare similară cu a unei probleme standard de manipulare, dar apar câteva aspecte specifice care vor fi analizate în continuare.

### 4.5.2 DISPOZITIVE DE PREHENSIUNE A OBIECTELOR ÎN BIBLIOTECI

#### 4.5.2.1 DISPOZITIVE DE PREHENSIUNE CU BACURI PARALELE

Prehensarea unei cărți cu un dispozitiv cu bacuri paralele (fig. 4.14) este mai simplă decât cea cu dispozitive multi-deget (fig. 4.15). Dispozitivul de prehensiune, montat la extremitatea manipulatorului, este format din două bacuri plate cu autocentrare și au partea de apucare sub formă de lamele ce facilitează preluarea unei cărți din pachetul de pe raft. Aceste dispozitive se pot folosi pentru prehensiunea și manipularea cărților cu mase și grosimi mici [Tomizawa, 2003b].

Pentru eficiență mărită a prinderii, lamelele de apucare pot fi inegale pentru a se evita introducerea ambelor bacuri simultan.

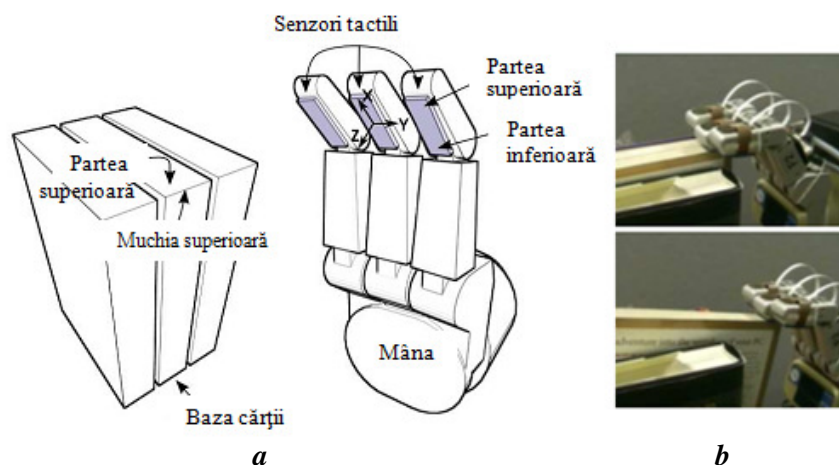
Având în vedere dezvoltările tehnologice din ultimul timp din domeniul construcției dispozitivelor de prehensiune în majoritatea aplicațiilor robotice de prehensiune/manipulare, inclusiv a celor din biblioteci, se pot alege dispozitive specializate comerciale.



**Fig. 4.14** Prehensarea de precizie a unei cărți cu prehensur cu două bacuri paralele [Prats, 2004a]

#### 4.5.2.2 DIPOZITIVE DE PREHENSIUNE DE TIP MÂINI MECANICE

Extragerea din raft a unei cărți cu o mână mecanică asimetrică cu trei degete montată pe un robot cu senzor de forță/cuplu și accelerație (montat între brațul robotic și elementul de execuție final) se execută în mod similar ca un operator uman: cu un deget se realizează contactul cu partea superioară a cărții, apoi aceasta este rotită spre exterior în raport cu baza (fig. 4.15,b).



**Fig. 4.15** Extragerea cărții din raft cu mână mecanică asimetrică cu trei degete [Morales, 2007]:  
a – mediul experimental; b – executarea extragerii

Principalul dezavantaj al acestei strategii constă în faptul că, în absența unor senzori de contact montați pe deget, robotul nu are posibilitatea de a detecta dacă contactul cu partea superioară a cărții este realizat. Această problemă a fost rezolvată prin montarea de senzori tactili pe vârful degetelor robotului (fig. 4.15,a). În plus, operația de prindere se realizează prin control al forței de pipăire (cu degetul) și forței de strângere cu prehensorul.

#### 4.5.2.3 DISPOZITIVE DE PREHENSIUNE INTELIGENTE

Din experiența anterioară, cercetătorii au concluzionat că schemele tradiționale de planificare și control a prinderii nu sunt adecvate în situații de incertitudine. O nouă abordare prevede reprezentarea capabilă să descrie procedurile de prindere aplicate în asemenea cazuri, astfel încât să se facă uz de nivele cognitive superioare. Cadrul fizic realizat de aceștia are în vedere executarea de tip reactiv a acțiunilor de manipulare, bazată aproape în întregime pe datele de la senzori.

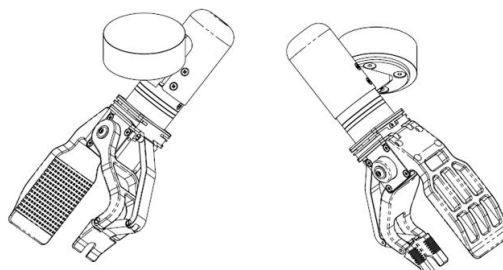
Pentru manipularea materialelor de informare și documentare în biblioteci, mai nou, se studiază controlul bazat pe inteligență partajată a roboților, asociind obiectele distribuite în spațiul fizic cu o bază de cunoștințe în spațiul virtual, prin folosirea etichetelor RFID ca hyperlink-uri fizice [Miyazaki, 2004]. De obicei, robotul cu platformă mobilă, cu localizare și navigare autonomă, cu manipulator și prehensor este capabil să recunoască și să manipuleze cărți, folosind etichete RFID ambientale sau încorporate în planșeu [Kim, 2009]. Astfel, roboții sunt dotați cu dispozitive pentru detecție și manipulare, pentru preluarea/depunerea cărților, pentru recunoașterea locului și aranjarea corespunzătoare pe raft. În fig. 4.16 este prezentat un dispozitiv de prehensiune dezvoltat de Institutul pentru Cercetarea Sistemelor Inteligente (*Intelligent Systems Research Institute – ISRI*) din Japonia pentru un robot de bibliotecă.

Optimizarea procesului de prehensiune a cărții se poate realiza prin achiziționarea datelor de la mai multe surse și fuziunea informațiilor provenite de la senzori diferiți.

Dispozitivele de detecție și manipulare pot fi compuse din:

- *sistem vision mână-ochi* pentru recunoașterea cărților pe raft și pe suportul atașat robotului.
- *manipulator redundant* (cu 7 sau mai multe grade de mobilitate) care permite accesul în spații înguste precum și la rafturi poziționate la înălțimi mai mari (neaccesibile manipulatorilor standard cu 6 grade de mobilitate).
- *senzori tactili și de forță-cuplu* care sesizează și respectiv măsoară greutatea cărții și forța de contact la prinderea acesteia.
- *senzor de localizare* pe baza etichetei RFID care recunoaște poziția curentă a robotului.
- *cititor de etichete RFID* care recunoaște categoria cărții și informațiile aferente acesteia.

În prezent se desfășoară multiple activități de cercetare științifică în domeniul roboților pentru servicii. Multe dintre aplicațiile comunicate se concentrează pe diferitele tipuri de roboți cum ar fi cei pentru curățenie, roboți-ghid turistic, patrule de securitate, roboți de divertisment și petrecere a timpului liber care posedă performanțe de comunicare avansate. Mai puțin obișnuite sunt cercetările privind aplicațiile de robotizare a activităților în domeniul bibliotecilor unde se evidențiază diverse situații specifice de implementare a acestora.



**Fig. 4.16** Mână robotică pentru manipularea cărții [Kim, 2008a]

## 4.6 MODELAREA PREHENSIUNII CĂRȚILOR

Sinteza *cinetostatică* a unui dispozitiv de prehensiune presupune obținerea unor sisteme mecanice de prehensiune care să respecte în același timp condiții cinematice și statice

cu referire la forțele caracteristice prehensurului care asigură:

- apropierea lentă a bacurilor de obiect (carte) și dezvoltarea forței de prehensiune necesară fără a deteriora obiectul de prehensat sau suprafețele de contact ale bacurilor;
- cunoașterea caracteristicilor mecanice și de rezistență ale elementelor dispozitivelor de prehensiune;
- asigurarea unei caracteristici statice constantă, permițând menținerea forței de strângere indiferent de dimensiunile obiectului de prehensat.

*Caracteristica statică*, denumită caracteristica mecanică a dispozitivului de prehensiune, reprezintă variația raportului dintre forța de strângere (prehensiune) realizată de bac și forța maximă cu care motorul acționează asupra elementului conducător [Starețu, 2010].

Modelarea statică are ca obiectiv principal stabilirea dependențelor forței de intrare și a reacțiunilor din cuple, în funcție de forța de ieșire.

#### 4.6.1 MODELAREA CONTACTELOR PREHENSOR–CARTE

Contactele dintre elementele de execuție ale prehensoarelor și obiectele de prehensat și manipulat, în funcție de forma și dimensiunile suprafețelor de contact și de frecarea dintre acestea, pot fi: punctiforme fără frecare, punctiforme (neconforme) cu frecare sau conforme cu frecare. Suprafețele reale de contact cu arii mult reduse (aproapiate de zero) se asociază contactelor de tip punctiform ("ac"), numite *neconforme*, spre deosebire de cele cu arii mărite care se asociază contactelor pe suprafețe mari, numite *conforme* (fig. 4.18).

Modelarea contactului bac/deget-obiect se face cu diverse nivele (ipoteze) de simplificare, care, în general, se pot referi la dimensiunile suprafeței de contact (neconforme sau conforme), la luarea în considerare a forțelor (momentelor) de frecare, la considerarea deformărilor elastice a elementelor în contact. În continuare, se vor considera pentru studiu, contacte rigide (fără deformații elastice ale elementelor în contact): punctiforme (neconforme) fără frecare (fig. 4.18,a); punctiforme (neconforme) cu frecare (fig. 4.18,b) și conforme cu frecare (fig. 4.18,c).

##### a. Descrierea contactului punctiform fără frecare

Transmiterea forței prin acest contact se face *prin formă* (după normala comună  $n$ -n), se descrie prin ecuația de echilibru în direcție normală,

$$N = F_n, \quad (4.2)$$

în care,  $F_n$  reprezintă forța de acțiune a elementului de execuție al prehensurului (bac/deget) și  $N$  – reacțiunea obiectului.

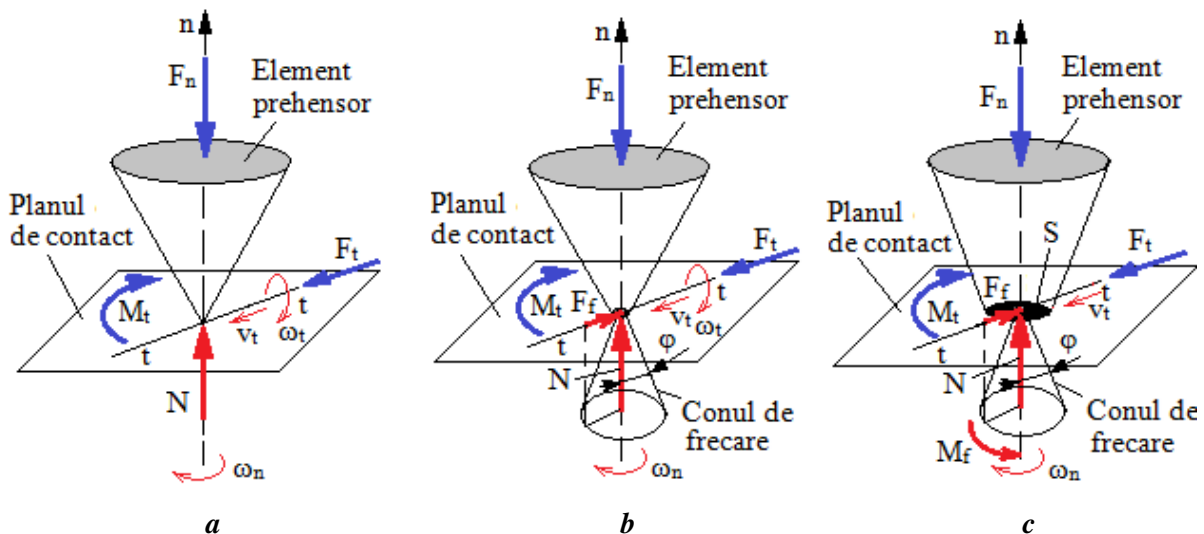


Fig. 4.18 Contacte de prindere bac/deget-obiect:

a – punctiform fără frecare; b – punctiform (neconform) cu frecare; c – conform cu frecare

Acest tip de contact are un *singur grad de mobilitate stabil* (după direcția normalei  $n-n$ ) și *trei grade de mobilitate instabile* descrise de mișcările  $\omega_n$ ,  $v_t$  și  $\omega_t$  neconstrânse fizic. Deoarece, în acest caz nu se consideră forțele de frecare, nu se poate lua în calcul transmiterea prin contact a forței  $F_t$  și a momentului  $M_t$  induse de obiect.

**b. Descrierea contactului punctiform cu frecare**

Transmiterea forțelor prin acest contact se face *prin formă* (după normala comună  $n-n$  a suprafețelor de contact), descrisă prin ecuația de echilibru în direcție normală (4.2) și *prin frecare* în planul de contact în direcția oricărei drepte din acest plan odată cu îndeplinirea condiției (fără mișcare relativă,  $v_t = 0$ ),

$$F_t < N \operatorname{tg} \varphi, \tag{4.3}$$

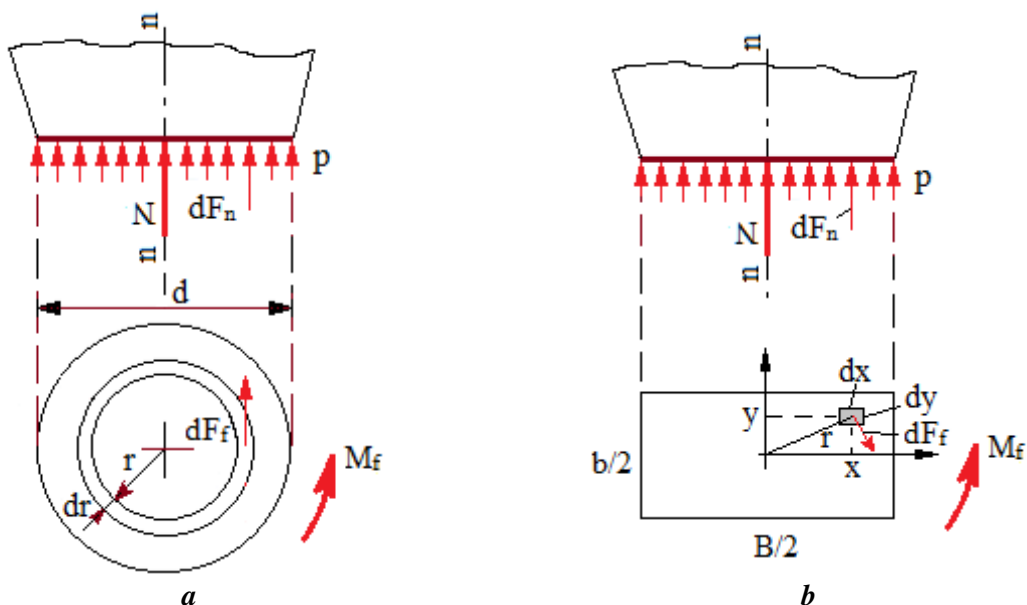
unde,  $F_t$  reprezintă forța de acțiune a obiectului în direcția  $t-t$ ,  $\varphi = \operatorname{arctg} \mu$ , unghiul de frecare. În cazul,  $F_t > N \operatorname{tg} \varphi$ , apare mișcare relativă ( $v_t > 0$ ) și fixarea obiectului este întreruptă. Dacă,  $F_t = N \operatorname{tg} \varphi$ , echilibrul în orice direcție  $t-t$  echilibrul este instabil. În plus, acest tip de contact are două grade de mobilitate instabile descrise de mișcările libere de rotație cu vitezele unghiulare  $\omega_n$  și  $\omega_t$ .

**c. Descrierea contactului conform cu frecare**

Transmiterea forțelor prin acest contact se face *prin formă* (după normala comună  $n-n$ ), descrisă prin ecuația de echilibru în direcție normală, (4.2) și *prin frecarea de alunecare* în planul de contact în direcția oricărei drepte  $t-t$  din acest plan odată cu îndeplinirea condiției (fără mișcare relativă,  $v_t = 0$ ) (4.3) și prin frecarea de pivotare în raport cu normala  $n-n$  prin echilibrul de rotație,

$$M_t < M_f \tag{4.4}$$

unde,  $M_t$  reprezintă momentul de rotire a obiectului în direcția  $n-n$ . În cazurile,  $F_t > N \operatorname{tg} \varphi$  și/sau  $M_t > M_f$  apar mișcări relative ( $v_t > 0$  și/sau, respectiv,  $\omega_n > 0$ ) și fixarea obiectului este întreruptă. Dacă,  $F_t = N \operatorname{tg} \varphi$  și/sau  $M_t < M_f$ , echilibrul în direcția  $t-t$  este instabil.



**Fig. 4.19** Momentul de frecare de pivotare:

**a** – suprafața de contact circulară; **b** – suprafața de contact dreptunghiulară

Momentul de frecare de pivotare din contactele conforme este dependent de forma suprafeței de contact și luând în considerare că pentru prehensiunea cărților, se utilizează

frecvent prehensoare cu bacuri paralele, cu suprafața de contact dreptunghiulară, sau cu deget la care suprafața de contact este circulară, în continuare, se vor determina relațiile de calcul ale acestui moment. În acest caz (contact conform) în zona suprafețelor în contact apar presiuni normale  $p$ , care se consideră uniform distribuite.

Momentul de frecare, de pivotare  $M_{fp}$ , pentru cazul *suprafeței de contact de formă circulară* (fig. 4.19,a), se determină prin însumarea (integrarea) momentelor de frecare elementare pe unitatea de suprafață inelară de grosime  $dr$  generate de forța de frecare elementară  $dF_f = \mu dF_n$ . Astfel, relația de calcul a momentului se determină din succesiunea,

$$\begin{aligned} M_{fp} &= \int dM_f = \int dF_f r = \int r \mu dF_n = \int r \mu p dA = \int_0^{d/2} r \mu p 2\pi r dr = \\ &= 2\pi \mu p \int_0^{d/2} r^2 dr = \frac{\pi}{12} \mu p d^3. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Înlocuind relația de calcul a presiunii,

$$p = \frac{4N}{\pi d^2}, \quad (4.6)$$

se obține relația finală de calcul a momentului de frecare,

$$M_f = \frac{1}{3} \mu N d, \quad (4.7)$$

unde,  $d$  reprezintă diametrul suprafeței de contact (fig. 4.19,a).

Pentru cazul *contactului cu suprafață dreptunghiulară* (fig. 4.19,b), de asemenea, considerând presiunea uniform distribuită, momentul de frecare se determină cu relația,

$$\begin{aligned} M_f &= 4 \iint dM_f = 4 \iint r dF_f = 4 \iint r \mu dF_n = 4 \iint r \mu p dA = \\ &= 4 \mu p \iint \sqrt{x^2 + y^2} dx dy. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Domeniul de integrare,  $D = \{(x, y); 0 \leq x \leq B/2, 0 \leq y \leq b/2\}$  unde,  $B$  reprezintă lungimea laturii dreptunghiului,  $b$  – lățimea acestuia. După integrarea analitică cu software-ul MAPLE și ținând cont că,

$$\begin{aligned} p &= \frac{N}{Bb}, \text{ relația (4.8) devine,} \quad (4.9) \\ M_f &= 4 \mu \frac{N}{Bb} \left( -\frac{1}{6} B^3 \ln B + \frac{1}{18} B^3 + \frac{1}{4} b B \sqrt{b^2 + B^2} + \frac{1}{4} b^3 \ln(B + \sqrt{b^2 + B^2}) - \right. \\ &\quad \left. \frac{1}{4} b^3 \ln b - \frac{8}{45} b^6 + \frac{1}{3} B^3 \ln(b + \sqrt{b^2 + B^2}) + \frac{1}{3} b^5 \sqrt{b^2 + B^2} + \frac{1}{15} b (b^2 + B)^{\frac{5}{2}} - \right. \\ &\quad \left. \frac{1}{18} B^3 - \frac{2}{9} b^3 (b^2 + B)^{3/2} \right). \end{aligned} \quad (4.10)$$

O funcție esențială a prehensoarelor mecanice este menținerea poziției obiectului în raport cu bacurile în timpul manipulării. Această funcție este îndeplinită dacă se dezvoltă o forță de prehensiune cu valoarea suficientă pentru “îvingerea” forțelor de acțiune (gravitațională și inerțiale) ale obiectului. Aceste forțe, în funcție de forma bacurilor și poziția prehensoarelor în timpul manipulării, nu sunt preluate numai de forța de prindere (strângere)  $F_p$  ci și de forța/momentul de frecare  $F_f/M_f$  generate de aceasta sau, în anumite situații, numai de forța de frecare.

*Forța de prindere (strângere)* este forța cu care fiecare bac acționează asupra obiectului (cărții).

În funcție de structura dispozitivului de prehensiune pornind de la valori cunoscute ale forțelor de prindere maxime se calculează forța de acționare a motorului.

În contextul unei operații de prindere, echilibrul, stabilitatea sau comportamentul static/dinamic al obiectului prehendat depind în exclusivitate de procesele care apar în punctele/zonele de contact (strângere). Din cauza faptului că suprafețele de contact, în cazul prehensiunii/manipulării cărților sunt plane fie că este vorba de prehendator sau de carte, acestea sunt obiecte nedeformabile și pentru modelare zonele (tipurile) de contacte se încadrează în cele trei situații prezentate în fig. 4.18.

Forța de prindere a unui obiect rigid paralelipipedic depinde de: forma și mărimea zonei de contact dintre obiect și degetele prehendatorului, de masa obiectului de prehendat; de coeficientul de frecare din zonele de contact; de poziția și orientarea suprafețelor de contact; de efectele cauzate de accelerarea/decelerarea prehendatorului în timpul manipulării.

#### 4.6.2 MODELAREA PREHENSIUNII CĂRȚILOR

Deoarece în cazul prinderii forțate, forțele de strângere sunt mult mărite, pentru prehensiunea cărților se va folosi prinderea de precizie care implică forțe de strângere mult reduse și astfel se va evita deteriorarea copertilor. Astfel, în continuare, se vor descrie modele de prehensiune de precizie cu contacte conforme (circulare sau dreptunghiulare) care acoperă majoritatea situațiilor practice de prehensiune și manipulare robotizată a cărților.

##### 4.6.2.1 MODELAREA PREHENSIUNII CU DOUĂ BACURI/DEGETE

În fig. 4.20 se prezintă prehensiunea laterală de precizie cu două degete considerând cazul contactelor conforme după suprafețe cu formă circulară cu diametrul  $d$ . Pentru modelare se vor lua în considerare următoarele ipoteze: coeficientul de frecare dintre obiectul prehendat (cartea) și bacuri  $\mu$  este constant; presiunea  $p$  pe suprafața de prindere (contact) este constantă.

În cazul general, torsiul forțelor care acționează asupra obiectului (cărții), redus într-un centru prehendatorului (punct de referință), poate avea componentele  $(\vec{F}_x, \vec{F}_y, \vec{F}_z, \vec{M}_x, \vec{M}_y, \vec{M}_z)$  sau, pentru mișcări particulare, numai o parte a acestora. Astfel, considerând cazul deplasării în plan vertical, ca urmare a acțiunii greutatei ( $G$ ), torsiul general se reduce în fiecare contact la componentele:

$$F_z = \frac{G}{2} \quad (4.11)$$

$$M_t = \frac{G}{2} R \sin\theta, \quad (4.12)$$

unde,  $\theta$  – reprezintă unghiul direcției centrului contactelor în raport cu verticala și  $R$  – distanța de la centrul sistemului de coordonate și centrul contactelor

Pentru modelare, se consideră un sistem de coordonate fix atașat obiectului de manipulat, localizat în centrul de greutate al cărții. Relativ la acest sistem de coordonate vor fi determinate stările contactelor precum și forțele aplicate în acestea.

În funcție de valoarea forței de reacțiune din contacte, dependentă de forța de strângere se evidențiază următoarele stări ale contactelor:

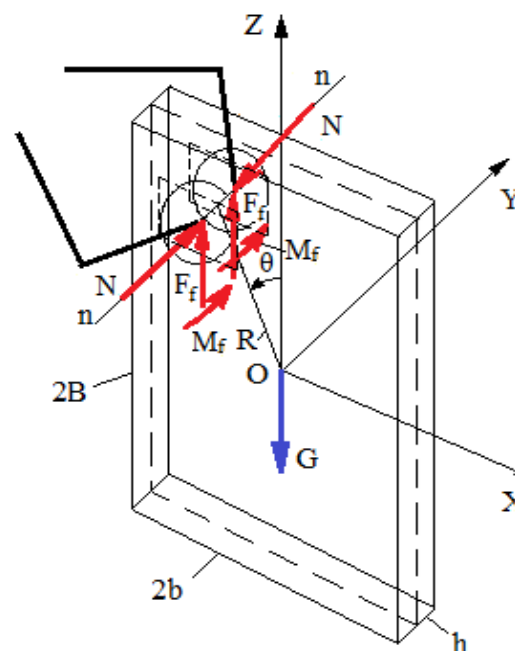


Fig. 4.20 Modelul static al prehensiunii cu două bacuri/deget

a. cu alunecare de translație și de rotație,

$$2\mu N \leq F_z, \quad 2M_f \leq M_t; \quad (4.13)$$

b. cu fixare la translație și alunecare de rotație,

$$2\mu N > F_z, \quad 2M_f \leq M_t; \quad (4.14)$$

c. cu fixare la translație și la rotație

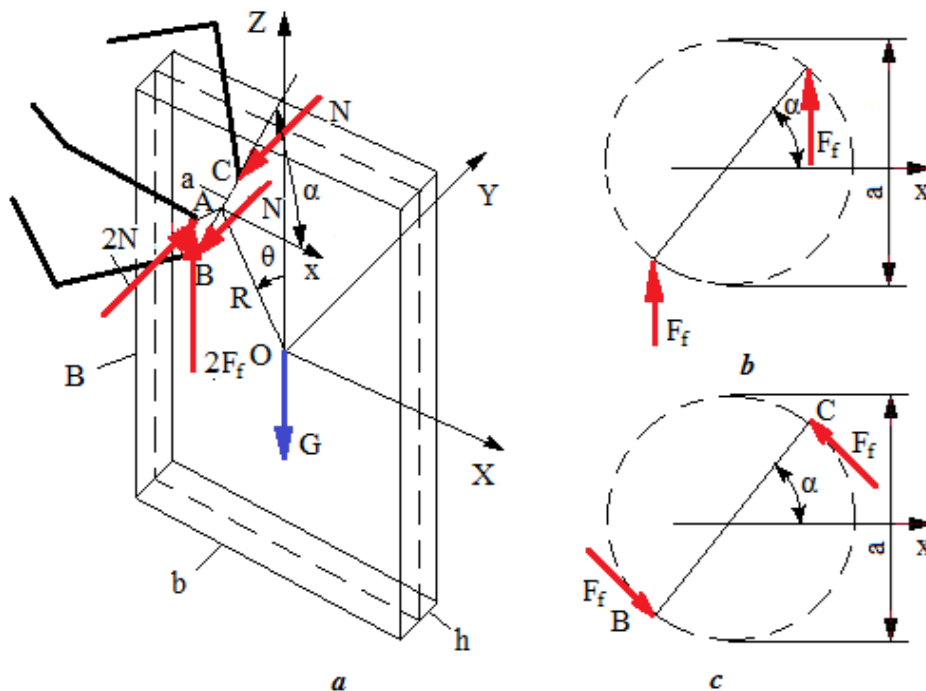
$$2\mu N > F_z, \quad 2M_f > M_t. \quad (4.15)$$

Cazul al treilea se caracterizează prin fixarea obiectului la translație și rotație, ținând cont de relațiile (4.11) și (4.12) se obține forța de strângere maximă,

$$F_s > \max\left(\frac{G}{4\mu}, \frac{3GR \sin \theta}{4\mu d}\right). \quad (4.16)$$

#### 4.6.2.2 MODELAREA PREHENSIIUNII CU TREI DEGETE

Se cunoaște faptul că zonele active (suprafețele de contact) mari îmbunătățesc capacitatea de a menține stabilitatea prehensiunii, stabilitate care se poate obține și prin creșterea numărului suprafețelor de contact, utilizând mai multe degete (de ex. 3 degete, fig. 4.21) care nu implică suprafețe de contact mărite, ci distribuții adecvate a acestora.



**Fig. 4.21** Modelul static al prehensiunii cu trei degete: **a** – reacțiunile normale; **b** – forțele de frecare pentru tendința de cădere; **c** – forțele de frecare pentru tendința de pivotare

În cazul prehensiunii unei cărți în trei puncte de contact se vor lua în considerare următoarele ipoteze de calcul: coeficientul de frecare dintre carte și degete  $\mu$ , este constant; frecarea de pivotare din degetul care acționează în punctul A este nulă. Astfel, sunt posibile două tendințe de mișcare a cărții față de degete: mișcare de translație de “cădere” în direcția



axei  $Z$  și mișcare de rotație de pivotare în jurul axei normale la triunghiul punctelor de contact ( $ABC$ ) cu orientarea  $\alpha$  față de axa  $x$  paralelă cu  $OX$ . În contactele asociate celor două degete de pe aceeași copertă (în punctele  $B$  și  $C$ ), poziționate la distanța  $a$ , în urma strângerii apar forțele de reacțiune  $N$  și forța de frecare de alunecare ( $F_f$ ),  $\mu N$ . În contactul  $A$ , din condiția de echilibru în direcție normală, forța de reacțiune este  $2N$  și forța de frecare  $2\mu N$ .

În funcție de valorile forțelor de reacțiune din contacte, dependente de forțele de strângere se evidențiază următoarele stări ale contactelor:

**a.** *cu alunecare de translație și de rotație,*

$$4\mu N \leq G, \mu N a \leq G R \sin\theta; \quad (4.17)$$

**b.** *cu fixare a translației și alunecare de rotație,*

$$4\mu N > G, \mu N a > G R \sin\theta; \quad (4.18)$$

**c.** *cu fixare a translației și a rotirii*

$$4\mu N > G, \mu N a > G R \sin\theta; \quad (4.19)$$

Pentru cazul al treilea se caracterizează prin fixarea obiectului la translație și rotație, ținând cont de relațiile (4.11) și (4.12) se obține forța de strângere maximă,

$$F_s = \max\left(\frac{G}{4\mu}, \frac{GR \sin\theta}{\mu a}\right). \quad (4.20)$$

În cazul deplasării platformei mobile cu accelerații mărite se impune pentru determinarea forței de strângere și luarea în considerare a forțelor de inerție.

## 4.7 ETAPELE PREHENSIUNII CĂRȚILOR

Etapele procesului general de manipulare a unei cărți: *identificarea cărții* (după titlu, autor sau subiect) și relaționarea automată cu locația acesteia; *poziționarea sistemului de manipulare* în fața raftului și stabilirea poziției optime de prinderea cărții; *preluarea de pe raft*, care presupune apucarea cumentinerea poziției relative a cărții față de dispozitivul de prehensiune (stabilirea parametrilor de lucru: deschiderea prehensorului, distanța până la carte, forța de prindere etc.); *deplasarea spre o unitate de transfer* (legătură între zona de depozitare și zona utilizatorului); *eliberarea cărții și resetarea pentru o altă acțiune*. Pentru preluarea cărții de pe raft, având în vedere poziția aleatoriea acesteia este necesar să se repete etapa de preluare de pe raft.

## 4.8 ALEGEREA DISPOZITIVELOR DE PREHENSIUNE PENTRU MANIPULAREA CĂRȚILOR ȘI/SAU DOCUMENTELOR DE INFORMARE

Datele preliminare pentru alegerea unui dispozitiv de prehensiune a cărților sunt: adâncimea maximă a raftului; dimensiunile maxime, masa maximă și grosimea minimă ale cărții.

Pentru alegerea dispozitivului de prehensiune se vor lua în considerare următorii factori:

- Caracteristicile prehensorului, în special, privitor la sarcina utilă maximă, dimensiunile și cursele realizate.

- Caracteristicile obiectelor (cărților), care cuprind greutate, rigiditate, natura materialului, geometrie, dimensiuni, stare, poziție și orientare, suprafețe de contact, forțe maxime de prindere, coeficient de frecare și condiții de mediu.
- Tipul elementelor de prindere (bacuri, degete) și caracteristicile suprafețelor de apucare (dimensiuni, rigiditate, forțe maxime admise etc.).
- Flexibilitatea prehensorului, posibilitatea de înlocuire rapidă și/sau de reglare simplă privind adaptarea sa la o gamă de cărți având un set de caracteristici comune.
- Costurile de proiectare, producție și adaptare la funcționarea pe robot precum și de întreținere [Lanni, 2009].

## 4.9 CONCLUZII

În cadrul bibliotecilor manipularea și transportul robotizat al materialelor de informare și documentare reprezintă procese independente care implică: alegerea conceptului și logisticii, tipurile echipamentelor, operațiunile implicate (ambalare/dezambalare și stocare), mentenanța echipamentelor etc.

Un sistem, bine conceput, de manipulare a cărților și/sau materialelor de informare/documentare în cadrul bibliotecilor are în vedere următoarele *obiective*: creșterea eficienței serviciilor; reducerea degradării materialelor în timpul stocării, manipulării și depozitării; maximizarea utilizării spațiului; reducerea la minimum a riscurilor de accidente; reducerea costurilor; creșterea semnificativă a flexibilității sistemului etc.

În vederea concepției și proiectării *unui sistem de manipulare/transport robotizat*, preliminar, se definesc: caracteristicile geometrice ale obiectului (forme, dimensiuni, proporții), caracteristicile fizice ale obiectului (material, centrul de greutate, rigiditate, masă, suprafață, temperatură etc.), caracteristicile de portanță ale roboților, caracteristicile geometrice ale spațiilor de operare și de manevră, de deplasare pe traiectorie (viteze, accelerații), de orientare (unghiuri limită, viteze unghiulare), caracteristicile de precizie și dexteritate ale roboților.

Metodele de manipulare/transport și depozitare în bibliotecă au un efect direct asupra duratei de viață a colecțiilor. Deteriorarea cărților este cumulativă. O manipulare incorectă, repetată, poate transforma rapid o carte nouă într-una uzată (veche), iar o carte uzată într-o carte ce nu se mai poate utiliza și care necesită o reparație costisitoare, relegare sau înlocuire.

Pentru evitarea unor astfel de neajunsuri se impune o examinare atentă a obiectelor și materialelor de manipulat (cărți, CD-uri broșuri etc.) în vederea identificării și adoptării unor dispozitive și metode de prehensare optime.

Cea mai simplă soluție de prindere a unei cărți constă în utilizarea unor prehensoare cu bacuri paralele și presupune apucarea (prinderea, fixarea) și menținerea posturii acesteia în timpul manipulării și/sau transportului.

Prehensarea (prinderea) prin rezemare, utilizată pentru apucarea și manipularea cărții, se realizează în condiții de încredere și maximă siguranță în urma identificării corecte a punctelor de contact dintre bacurile prehensorului și obiectul de interes.

În vederea alegerii unei soluții optime de prindere și manipulare a cărții se impune modelarea contactelor dintre bacurile/degetele dispozitivului de prindere și obiectul manipulat, contacte conforme (circulare sau dreptunghiulare) care acoperă majoritatea situațiilor practice de prehensare și manipulare robotizată a cărților.

*Optimizarea procesului de prehensiune* implică derularea unei strategii care presupune identificarea unei cărți în următoarele faze: măsurarea dimensiunii, determinarea tipului de obiect, evaluarea distanței până la acesta, generarea modelului de prehensiune.

# 5. SISTEM ROBOTIZAT PENTRU SERVICII ÎN BIBLIOTECI (SROSIB)

## 5.1 INTRODUCERE

În cadrul acestei lucrări se prezintă concepția, dezvoltarea și implementarea unui sistem robotizat de servicii specifice activităților din biblioteci. Scopul principal al acestui sistem este, pe de-o parte, de a introduce noi facilități de informare și documentare a utilizatorilor și, pe de altă parte, a ușura efortul bibliotecarilor să identifice, transporte, depoziteze și administreze fondul documentar.

Sistemul robotizat este compus din roboți mobili cu platforme pe patru roți cărora li s-au atașat brațe de manipulare cu dispozitive de prehensiune. Aceștia au fost echipați cu câte o cameră web de recunoaștere și un detector de identificare prin radiofrecvență (RFID).

Ideea de a reuni cele două părți, platforma mobilă cu brațul de manipulare, într-o singură structură capabilă să efectueze sarcini în medii nestructurate nu este nouă, dar pentru realizarea acesteia se întâmpină o serie de probleme: integrarea echipamentelor hardware; dezvoltarea unui sistem senzorial pentru identificarea mediului de lucru; utilizarea unei surse de energie care să asigure o funcționare continuă pe o durată de timp determinată; evitarea obstacolelor în timpul mișcărilor (de deplasare și/sau manipulare); asigurarea unei interacțiuni om-robot cât mai naturale și limitarea situațiilor nesigure etc. [Duguleană, 2011].

## 5.2 STRUCTURA GENERALĂ ȘI FUNCȚIONARE A SROSIB

În cadrul acestei lucrări s-a conceput și dezvoltat un sistem robotic de servicii pentru biblioteci bazat pe platforma mobilă Pioneer 3-AT cu manipulatorul Pioneer 2Arm (5 DOF) și platforma mobilă PowerBot cu manipulatorul PowerCube (6 DOF), integrate în sistemul actual al Bibliotecii Universității *Transilvania* din Brașov.

Obiectivele funcționale specifice ale acestui sistem urmăresc: implementarea conceptului de raft inteligent, care permite dezvoltarea de aplicații cu un grad de complexitate ridicat; localizarea roboților în mediu de lucru din bibliotecă; deplasarea autonomă a roboților pentru a ajunge la destinații stabilite de utilizatori autorizați; realizarea de comunicații avansate atât cu dispozitivele auxiliare cât și cu utilizatorii; recunoașterea mediului și utilizatorilor.

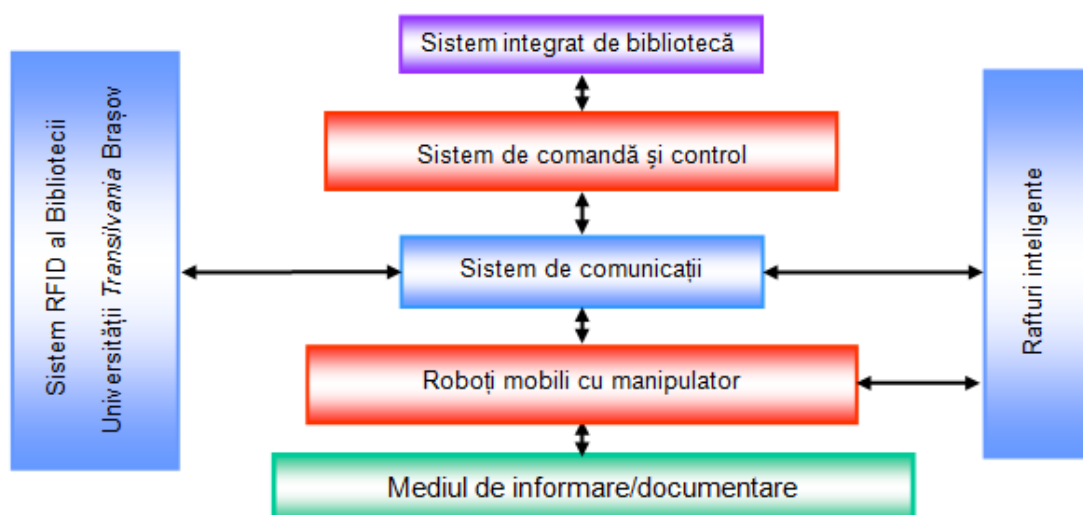


Fig. 5.1 Structura generală a SROSIB

În fig. 5.1 se prezintă părțile principale care compun SROSIB. Astfel, se evidențiază că doi roboți mobili cu manipulator, unul pentru informare și manipulare RIM (*Robot de Informare și Manipulare*) și celălalt pentru transport și manipulare RTM (*Robot de Transport și Manipulare*), controlați și comandați de controlere proprii sunt supervizați de un sistem de conducere superior. În vederea luării deciziilor la nivelul sistemului de comandă și control entitățile componente (roboții, rafturile, cărțile etc.) au fost dotate cu senzori pentru identificarea și/sau măsurarea unor mărimi caracteristice funcționale.

Pentru a face legăturile între componentele sistemului s-a conceput un sistem de comunicații multimodal ce dispune de un sistem vision care este corelat cu sistemul RFID local. Abordarea bazată pe fuziunea senzorială (cameră video și cititor RFID) conduce către o bună performanță în identificarea, detectarea, localizarea, urmărirea persoanelor și obiectelor.

Utilizând sistemul RFID, un robot poate ușor să identifice obiectele cu ajutorul codului ID transmis de dispozitivele automate de emisie – recepție care sunt fixate pe fiecare obiect, fără să fie nevoie de senzori suplimentari sau de alte operații complexe. Totuși, principala dificultate care apare este incapacitatea de localizare spațială care se impune să fie realizată cu alți senzori (de ex. sonare) montați pe roboți.

### 5.3 DESCRIEREA MEDIULUI DE INFORMARE/DOCUMENTARE

Spațiul de informare/documentare pentru realizarea experimentelor cu SROSIB este o sală de lectură cu lungime a de 15,5 m și lățimea de 6,5 m, îngustându-se spre ieșire pe o lungime de 4 m cu 2,5 m (fig. 5.2). Acest spațiu se află în clădirea Institutului de Cercetare Dezvoltare Inovare al Universității *Transilvania* din Brașov. În acest spațiu au fost amplasate 6 rânduri de mobilier cu 8 rafturi pentru cărți, așezate două câte două, spate în spate, fiecare rând având o lungime de 3,6 m și o lățime de 0,7 m (fig. 5.3), 5 mese de documentare (1,2/0,65 m) și un ghișeu de informare (recepție). În cadrul acestui spațiu operează doi roboți mobili (RIM și RTM), unul, cu precădere, specializat pentru informare și manipulare documente ușoare, celălalt specializat pentru manipulare și transport cărți.

Poarta RFID, montată la intrarea în sala de lectură, la o distanță de 0,5 m față de perete, reprezintă punctul de început/sfârșit al comunicării utilizatorului cu SROSIB. Pentru testarea și experimentarea SROSIB se iau în considerare și obstacolele mobile reprezentate, cu precădere, de utilizatorii și personalul bibliotecii, dar și de platforma mobilă a celuiilalt robot.

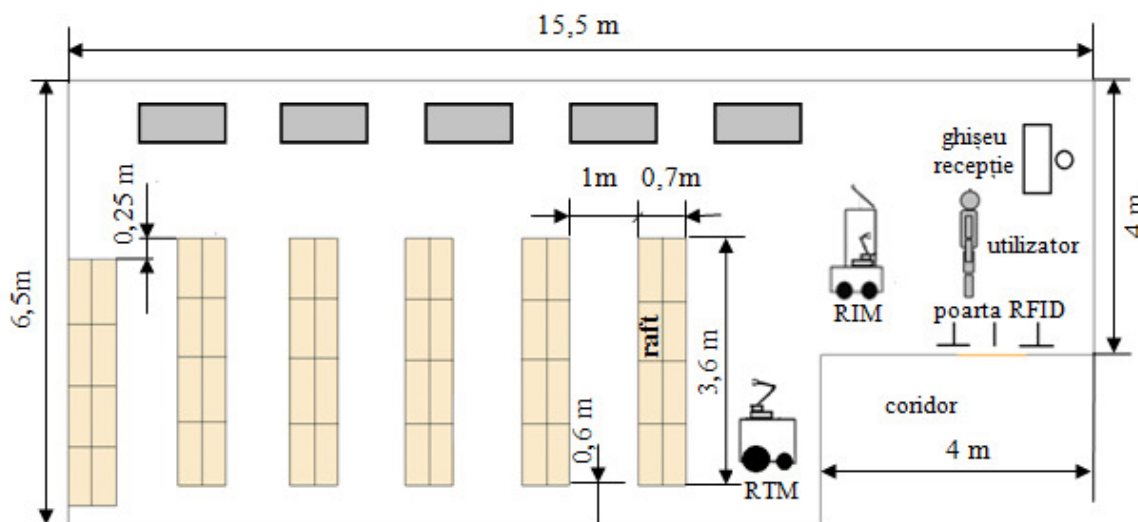


Fig. 5.2 Mediul de informare/documentare

## 5.4 STRUCTURA HARDWARE

### 5.4.1 ROBOTUL MOBIL DE INFORMARE ȘI MANIPULARE (RIM)

#### 5.4.1.1 STRUCTURA GENERALĂ

În fig. 5.4 se prezintă structura RIM dezvoltată ce are la bază platforma Pioneer 3 All - Terrain (P3-AT) produsă de Adept MobileRobots LLC, pe care s-a montat manipulatorul Pioneer 2Arm (5 DOF), dotat cu un sistem de prehensiune adecvat prinderii documentelor ușoare (broșuri, reviste, CD-uri, DVD-uri etc.), o structură din profile de aluminiu pe care s-a fixat un monitor cu ecran tactil (*Aures OLC 15*) pentru comunicare facilă și interactivă, o cameră video (*Prestigio Web Camera 2*) pentru monitorizarea mediului, obiectelor, utilizatorilor și un cititor RFID pentru identificarea obiectelor.

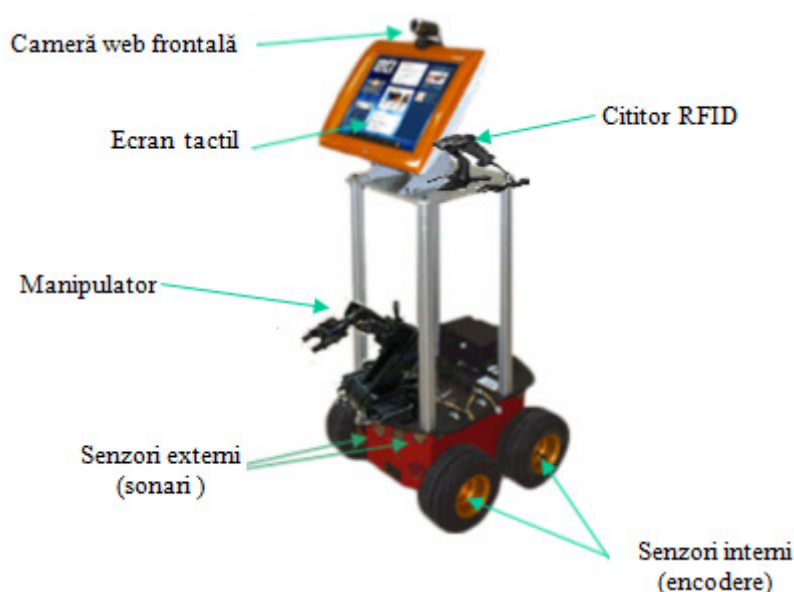


Fig. 5.4 Robotul mobil de informare și manipulare

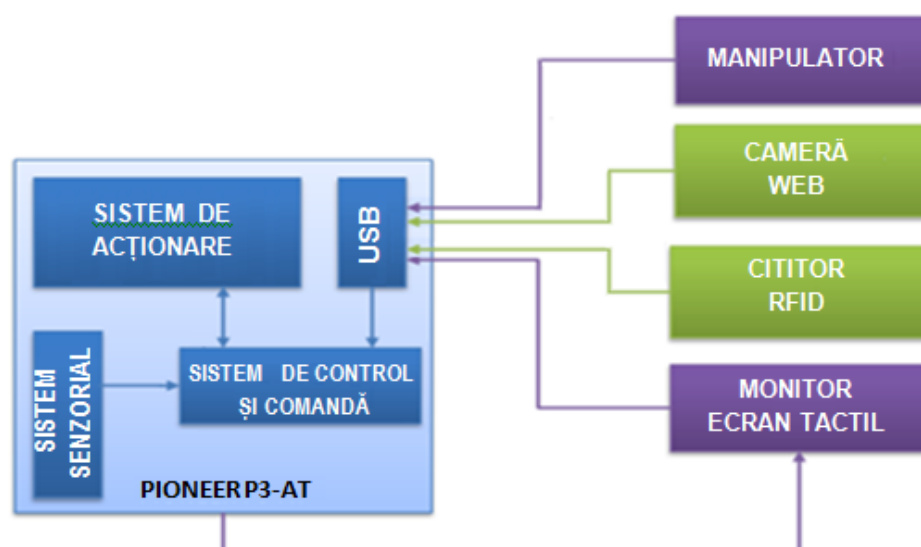


Fig. 5.5 Schema bloc funcțională a RIM

Platforma mobilă pe patru roți asigură o navigare eficientă, fără alunecări și cu stabilitate mărită, cu viteze care să nu pună în pericol integritatea utilizatorilor. Aceasta trebuie să susțină întreg ansamblul de echipamente și dispozitive operative, inclusiv un set de baterii de acumulare pentru alimentarea cu energie electrică. În plus, platforma mobilă adoptată trebuie să permită dezvoltarea de aplicații și prototipuri care implică: cartografiere, navigare, monitorizare, recunoaștere, vision, manipulare, cooperare etc.

În fig. 5.5 se prezintă schema bloc a RIM în care se evidențiază subsistemele funcționale principale. Sistemul RIM, pe lângă funcția de informare/supraveghere, poate fi folosit și pentru manipularea documentelor de bibliotecă (CD/DVD-uri, reviste, pliante etc.) cu greutate redusă, de până la 0,5 kg. Întreg ansamblul este capabil să navigheze într-un mediu interior nestructurat, supervizat de un sistem de control și comandă ierarhic, prin intermediul unui sistem de comunicații multimodale.

### 5.4.1.3 BRAȚUL DE MANIPULARE

RIM este dotat cu brațul de manipulare Pioneer 2Arm cu 5 grade de mobilitate (fig. 5.12), cu trei cuple cinematice de rotație, pentru poziționare și generarea traiectoriei de manipulare, și două cuple de rotație pentru orientarea controlată a obiectului de manipulat în spațiul de lucru. Acest braț poate atinge puncte de până la 50 cm depărtare de la centrul bazei.

Pentru prinderea documentelor de informare (pliante, broșuri, reviste, CD/DVD etc.) s-a ales un prehensur cu două bacuri acționat electric. În vederea asigurării unei prinderi ferme pe bacurile efectorului, s-au lipit două plăcuțe dreptunghiulare din material aderent (cauciuc), mărind coeficientul de frecare pe suprafața de contact cu documentul prehsurat.

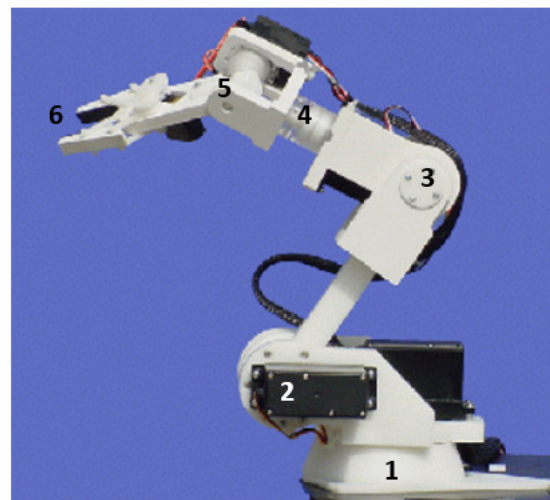


Fig. 5.12 Brațul de manipulare Pioneer 2Arm [ActivMedia Robotics, 2001]

### 5.4.2 ROBOTUL MOBIL DE TRANSPORT ȘI MANIPULARE (RTM)

Pentru manipularea cărților precum și transportul acestora în interiorul mediului de informare/documentare se va folosi robotul mobil PowerBot cu braț de manipulare, PowerCube.

Platforma mobilă PowerBot dispune de 2 motoarele electrice de acționare, alimentate prin intermediul unei baterii compusă din 2 acumulatori de 12V (88 Amp/h) montați în serie. Această baterie trebuie reîncărcată odată ce tensiunea scade sub 22V. Cuplele manipulatorului PowerCube, precum și prehensurul, sunt acționate de 7 servo-motoare electrice de tip rotativ Schunk PR și respectiv PW, care sunt acționate de motoare alimentate la tensiunea de 24 V.

Platforma mobilă PowerBot are o carcasă robustă, structura locomotoare cu manevrabilitate ridicată, un sistem senzorial cu 28 de senzori sonari, un senzor laser și o cameră video PTZ (*Pan Tilt Zoom*).

În fig. 5.17 se prezintă poziționarea senzorilor externi pe platforma mobilă PowerBot [Duguleană, 2009] în două rețele cu senzori sonar, una dispusă în fața platformei și cealaltă în spate. Fiecare rețea dispune de 14 celule cu senzori sonar, poziționate în 2 sectoare, la unghiuri de 10°, 20° și respectiv 25° (fig. 5.17,b) și permite scanări de până la 6 m.

Senzorul laser de tip SICK LMS200 (fig. 5.17,a) permite scanarea mediului la distanțe de până la 50 m, cu citiri la fiecare grad, în planul orizontal situat la 22 de cm față de sol.

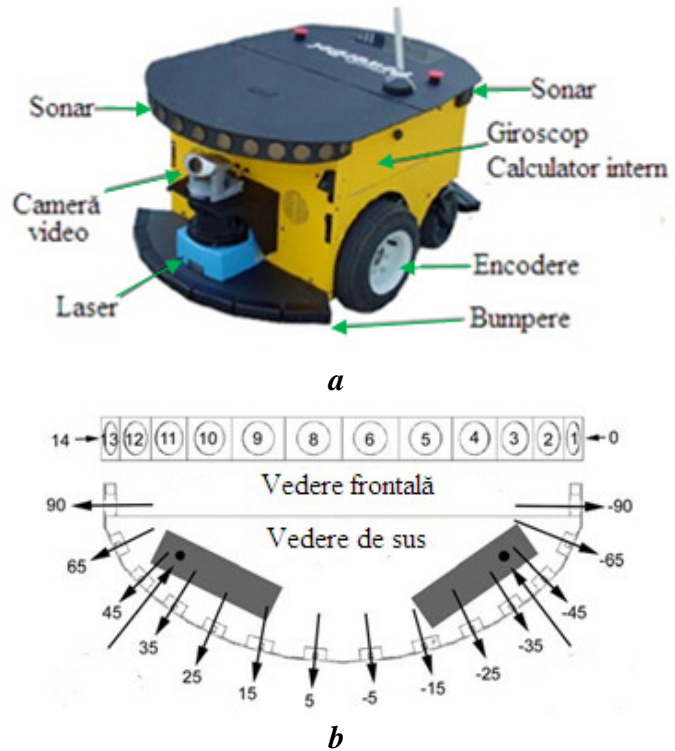
Camera video PTZ, montată în fața platformei sub rețeaua de senzori sonar, stă la baza sistemului vision folosit pentru recunoașterea și localizarea obstacolelor, precum și pentru măsurarea distanțelor de la robot la obstacole din mediu.

Pentru sesizarea coliziunilor cu obiectele din spațiul de lucru platforma PowerBot este dotată cu două rețele cu senzorii de contact (bumpere) poziționați în barele de protecție față și spate.

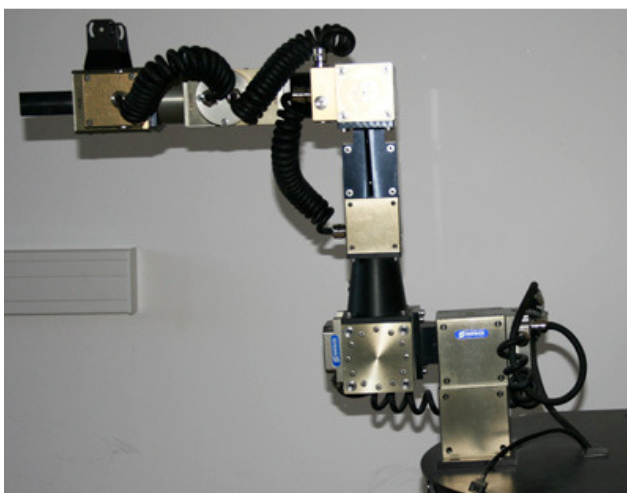
Giroscopul, montat în interiorul carcasei, are funcția de a determina direcția de deplasare a platformei. Cu ajutorul informațiilor date de acesta se poate diminua erorile cauzate de o încărcare inegală a roților și/sau induse de coeficienții de frecare diferiți din contactele roților și suprafețele de rulare.

În plus, pe platforma PowerBot, sunt montate microfoane care au scopul de a recepționa comenzile verbale în cazul comunicării prin voce.

Prin utilizarea senzorilor sonar și laser, pe de-o parte, au fost implementați algoritmi SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) pentru cartografierea mediului și, pe de altă parte, în combinație prin fuziune cu date de la sistemul vision, pot fi obținute capacități avansate de recunoaștere și localizare a obiectelor din mediu.



**Fig. 5.17** Senzorii externi ai platformei PowerBot: **a** – poziționarea pe carcasă; **b** – pozițiile celulelor de tip sonar [ActivMedia Robotics, 2003]



**Fig. 5.18** Structura mecanică a manipulatorului PowerCube: **a** – vedere generală; **b** – schema structurală [Duguleană, 2009]

Pe platforma PowerBot este, de asemenea, montat un braț de manipulare cu 6 DOF și un prehensur cu două bacuri paralele. Fiecare modul are un servomotor încorporat, capabil să producă un cuplu de 372 Nm. Viteza unghiulară maximă atinsă de module este de 8,2 rad/s. Aceste module conțin, de asemenea, encodere incrementale de tip Schunk FTS (*Force Torque Sensors*) [Mondragon, 2012] pentru poziționare și controlul vitezei și forței.

În fig. 5.18 se prezintă brațul manipulator PowerCube construit din 6 module de rotație. Ca structură independentă (fig.5.18,a), fiecare modul/cuplă are cursa maximă de  $\pm 160^\circ$ . Practic, în structura manipulatorului PowerCube, din restricții de coliziune, cursa modulului B nu poate depăși valoarea de  $\pm 120^\circ$ , deoarece elementul 2 s-ar lovi de elementul 0 (fig. 5.18,b).

Cele două bacuri paralele ale prehensurului sunt antrenate cu un mecanism acționat de un motor electric care permite aplicarea unei forțe de apăsare între 30 și 200 N. Brațul PowerCube poate ridica greutăți de maxim 2 kg și are o rază de acțiune de aproximativ 0,9 m.

### 5.4.3 SISTEMUL DE CONTROL ȘI COMANDĂ SUPERVIZOR

Pentru lansarea în execuție a aplicațiilor de informare și documentare (de detectare a feței, interfețe cu utilizatorul, detectarea și recunoașterea documentelor/cărților etc.), proiectate și implementate pe un calculator central, se instalează un client/server VNC (*Virtual Network Computing*) pentru Windows, care să permită conectarea la RIM și RTM, prin intermediul unei conexiuni wireless. După stabilirea conexiunii dintre calculator și robot, un utilizator autorizat poate lansa în execuție aplicația de comunicare cu robotul.

În fig. 5.19 se prezintă schema bloc a sistemului de control și comandă supervizor, care reprezintă partea centrală, coordonând toate activitățile RIM și RTM în mediul de informare/documentare, conform programului impus.

Roboții mobili RIM și RTM evoluează independent conduși de propriile controlere, care asigură pornirea motoarelor de acționare, ghidarea roboților, comunicarea cu celelalte subsisteme ale SROSIB, conectarea la alte dispozitive (ex. senzori externi) etc.

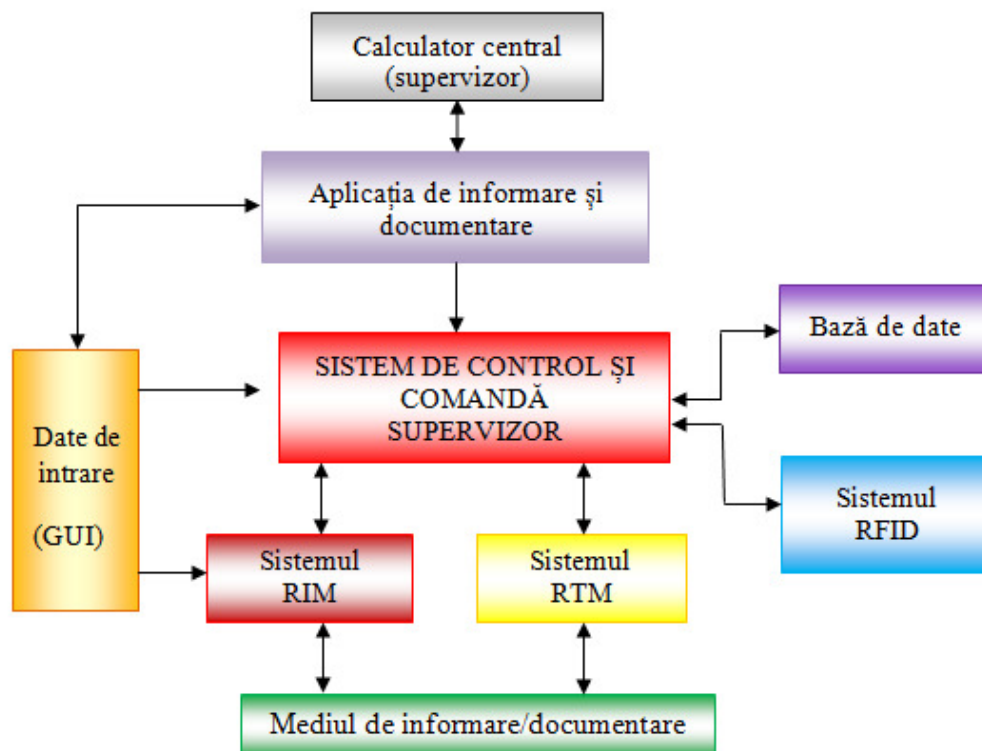


Fig. 5.19 Schema bloc a sistemului de control și comandă supervizor



Pentru introducerea datelor de intrare dar și pentru vizualizarea stărilor/datelor intermediare și/s-au finale s-a conceput o interfață grafică web cu utilizatorul *InfoLibrary*, accesibilă prin intermediul ecranului tactil al RIM. Aceasta încorporează mai multe module de interfațare (cu roboții, de detectare a cărților, de detectare a feței, de intrare/ieșire etc.) și oferă acces la informații generale despre serviciile bibliotecii, catalogul OPAC, baza de date etc.

Modulul de interfațare cu roboții are ca scop gestionarea comunicării dintre utilizator/dezvoltator și controlul acestora.

De asemenea, s-a conceput și implementat o interfață grafică cu dezvoltatorul/operatorul SROSIB, accesibilă prin display-ul calculatorului central. Această interfață permite accesul operatorului la baza de cunoștințe cu informații despre tipul și caracteristicile roboților, codurile planurilor de operații curente, adăugarea, editarea și ștergerea acestora. Această interfață face legătura între *aplicația de informare și documentare* (fig. 5.19) și *sistemul de control și comandă supervisor* care transmite date pentru planificarea traseelor și sarcinilor RIM/RTM, conform cerințelor utilizatorului.

Setul de programe asociat fiecărei acțiuni robot determină comportamentul corespunzător cererii utilizatorului prin intermediul interfeței grafice. Astfel, robotul își poate schimba comportamentul în mod flexibil conform cererilor utilizatorului.

#### 5.4.4 SISTEMUL DE COMUNICAȚII

Pentru concepția și dezvoltarea unei rețele de comunicații de date robustă au fost utilizate trei tehnologii de comunicație: Wi-Fi, TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) și RFID.

În fig. 5.22 se prezintă arhitectura sistemului de comunicații al SROSIB, în care se evidențiază două grupe de comunicații pentru comanda roboților: comunicații calculator-robot și comunicații robot-senzori RFID.

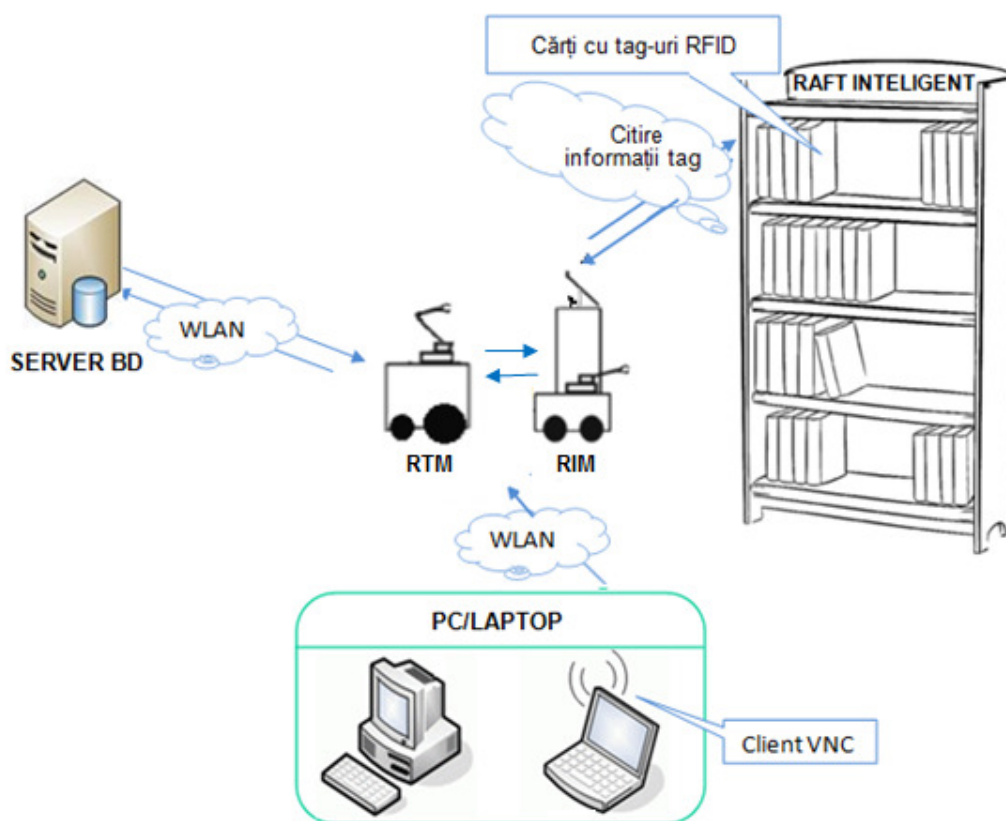


Fig. 5.22 Arhitectura sistemului de comunicații

## 5.5 STRUCTURA SOFTWARE

### 5.5.1 STRUCTURA GENERALĂ A PACHETULUI SOFTWARE

În fig. 5.27 se prezintă structura generală a pachetelor software integrate în SROSIB. Practic, prin intermediul aplicației de informare și documentare (v. fig. 5.19) sistemul este comandat pentru a trece de la o stare la alta, succesiune ce se poate urmări de dezvoltator/utilizator, prin intermediul unei interfețe grafice (GUI).

RIM și RTM integrați în SROSIB dispun de modulele software de bază ARIA (*Advanced Robotics Interface for Applications*) ce rulează la nivel de controler al platformelor mobile Pioneer 3-AT și PowerBot ale acestora. De asemenea, dispun și de comenzi software, care rulează pe un calculator gazdă, permițând astfel unui operator atât programarea cât și controlul de la distanță al roboților, prin intermediul interfeței utilizator (GUI).

SROSIB integrează și pachetele software pentru detectarea și recunoașterea utilizatorilor și cărților, OpenCV și, respectiv, Emgu CV, care permit dezvoltarea de aplicații de interacțiune ale RIM/RTM cu mediul și cu personalul, utilizând Microsoft Visual Studio.

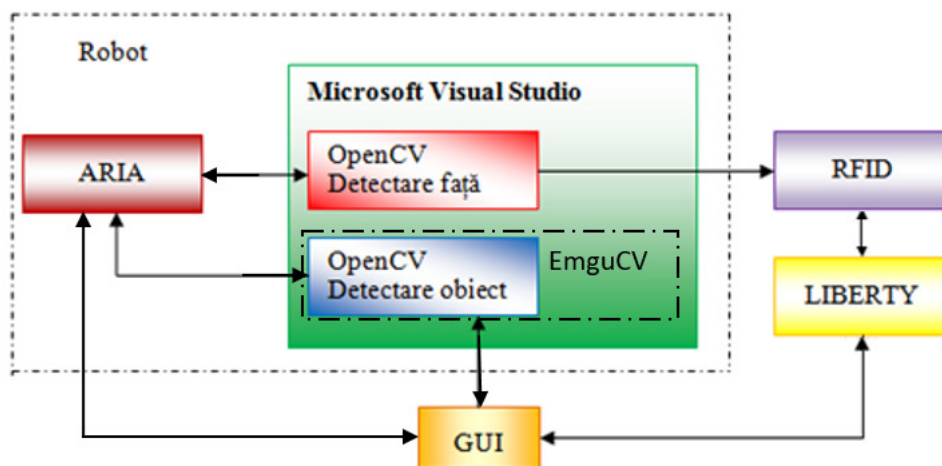


Fig. 5.27 Schema generală a pachetelor software ale sistemului SROSIB

În plus, pachetul SROSIB cuprinde o aplicație Internet/Intranet ce înglobează concepte de programare de ultimă oră, care exploatează o rețea de tip WAN (*Wide Area Network*), numită Liberty (soft integrat de bibliotecă) și tehnologia RFID pentru managementul utilizatorilor și al cărților de pe rafturi [Softlink, 2019c].

Pentru localizarea și navigarea RIM și RTM în mediul lucru din bibliotecă au fost proiectate și implementate aplicații dedicate ce permit: cunoașterea mediului; generarea hărții mediului; localizarea roboților în fața unui raft; deplasarea acestora în teritoriu limitat, dintr-un punct de start într-un punct țintă; evitarea obstacolelor fixe și mobile; manipularea obiectelor. De asemenea, au fost realizate aplicații pentru detectarea și recunoașterea persoanelor și a cărților la raft.

### 5.5.2 ALGORITMI ȘI PROGRAME DE RECUNOAȘTERE ȘI INTERACȚIUNE CU UTILIZATORUL

În fig. 5.28 se prezintă structura pachetului de programe pentru recunoașterea și interacțiunea cu utilizatorul. Aceste procese sunt rezolvate prin patru module de calcul: atingere (la nivel touch-screen), recunoaștere, cunoștințe și control care, preliminar, pot fi simulate virtual [Jia, 2015].

Fiecare modul de calcul este independent și poate fi privit ca o descriere a unei stări distincte.

*Modulul tactil* este responsabil de detectarea și interpretarea atingerii cu degetul a ecranului monitorului, utilizând driverele și funcțiile I/O. Conform rezultatului obținut în urma atingerii ecranului, sistemul tranzitează de la modulul tactil la modulul de recunoaștere care realizează corespondența între un obiect și imaginea sa. Pentru obținerea datelor de identificare ale unui obiect se poate utiliza tehnologia CV (*Computer Vision*) sau tehnologia RFID. În sistemul SROSIB, s-a folosit atât tehnologia CV, cât și cea RFID. Odată ce un obiect este recunoscut, acesta este automat asigurat și urmărit utilizând metode dedicate [Wu, 2014; Wu, 2015].

Sarcina *modulului de cunoștințe* este de a încorpora informații de la operatorul uman (localizarea documentelor/cărților, trasee de deplasare pentru roboți, traiectorii pentru realizarea sarcinilor de manipulare etc.) în sistem.

*Modulul de control* are sarcina de a transforma acțiunea de realizat în comenzi de control și comandă a RIM și/sau RTM. Fiecare acțiune are propriul set de comenzi de execuție și control pentru a îndeplini funcții (sarcini) de lucru.

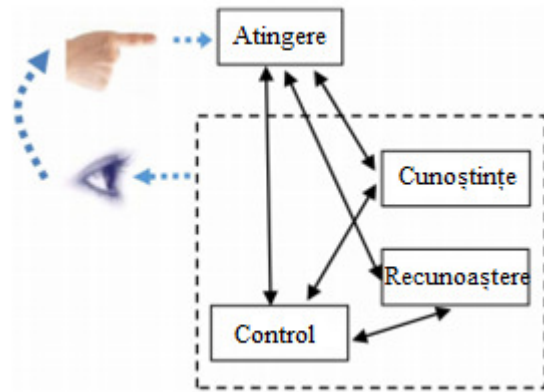


Fig. 5.28 Structura pachetului de recunoaștere și interacțiune cu utilizatorul

### 5.5.3 ALGORITMI ȘI PROGRAME PENTRU RIM ȘI RTM

#### 5.5.3.1 ALGORITMI DE CONTROL ȘI COMANDĂ

În fig. 5.29 se prezintă schema de control și comandă a RIM și RTM pe bază de *evenimente* în concordanță cu orice cerere a utilizatorului (de ex. apăsarea pe ecranul tactil peste un icon dedicat unei sarcini robot). Arhitectura aplicațiilor este de tip *observer-listener*, în care există două tipuri de obiecte: care induc (produc) evenimente și care sunt induse de evenimente. Pentru fiecare obiect producător de evenimente putându-se înregistra mai multe obiecte induse.

În principiu, programul de conducere principal controlează platforma mobilă și brațul de manipulare prin porturile seriale (COM1, COM2, COM3). Când programul de conducere principal începe să ruleze, inițializează la început porturile seriale și începe *evenimentul observer* pentru toate. Apoi se cedează controlul observatorilor de evenimente care controlează mișcarea platformei și/sau brațului.

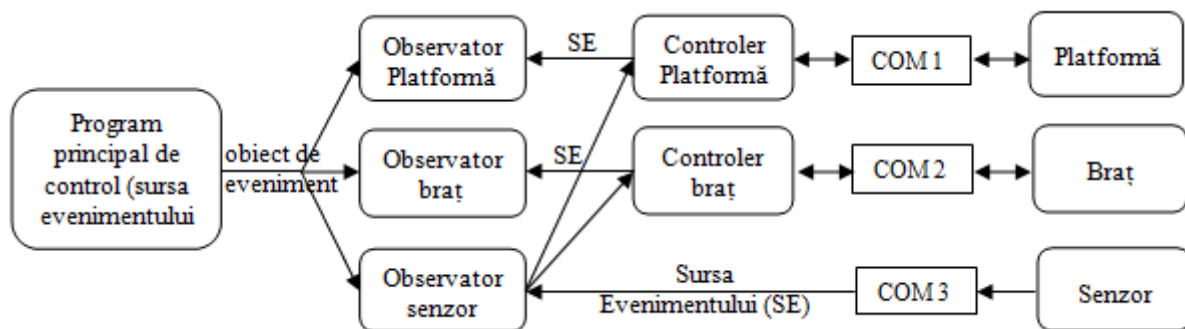


Fig. 5.29 Schema de conducere a RIM și RTM

Practic, fiecare observator de eveniment va monitoriza starea unui port serial. Odată ce starea aceluia port se modifică, observatorul va sesiza evenimentul ce se întâmplă și va executa funcția corespunzătoare.

În total sunt creați trei observatori de evenimente care monitorizează starea platformei, brațului de manipulare și respectiv a senzorilor. De exemplu, pentru a finaliza procesul de preluare a unei cărți, după ce observatorul senzorului primește semnalul *ready* de la toți senzorii, acesta va apela controllerul platformei pentru a porni spre țintă. Odată ce platforma ajunge la raft, observatorul platformei va primi semnalul *shelf arrive* și va apela controllerul brațului pentru a-l poziționa în fața cărții solicitate. După ce prehensorul prinde cartea și brațul revine în poziția inițială, observatorul brațului va primi semnalul *arm done* și apoi va apela controllerul pentru deplasarea platformei spre poziția inițială a acesteia. Apoi pot urma și alte procese, de asemenea, determinate de evenimente, prin care cartea este predată utilizatorului sau așezată pe birou, la recepție sau pe o masă de documentare.

### 5.5.3.2 ALGORITMI DE LOCALIZARE ȘI NAVIGARE

Microcontrolerele platformelor RIM și RTM răspund prin intermediul unor module program, la nivel mașină, de problemele de conducere, la nivel inferior pentru navigarea cu anumite viteze și orientări în mediul de lucru, achiziția datelor de la senzori, managementul parametrilor interni etc. Pachetele software dezvoltate de compania producătoare MobileRobots oferă controlul la nivelul superior pentru evitarea obstacolelor, planificarea traiectoriilor, localizare și navigare sau operare a brațului robotic.

ARIA (*Advanced Robotics Interface for Applications*), reprezintă software-ul de bază atât ca interfață, cât și ca modul software prin care platformele RIM și RTM pot fi controlate, împreună cu accesoriile acestora. Colecția de programe ARIA este un set de clase C++ disponibilă gratuit, putând fi utilizată și pentru managementul comunicării client-server.

Principalele module ARNL (*Advanced Robotics Navigation and Localization*) utilizate pentru localizarea și navigarea RIM și RTM includ pachetele: *Mapper3Basic*, pentru cartografiere; *MobileSim*, pentru simulare și/sau control în timp real al deplasării; *ArnlServer* (server virtual), pentru a accesa datele citite de la sistemele senzoriale de tip sonar; *MobileEyes* pentru editarea de scenarii de deplasare, planificarea unor traiectorii prin puncte, introducerea unor ținte secundare, conectare în rețea (*ArNetworking*) precum și la stația de încărcare a bateriei.

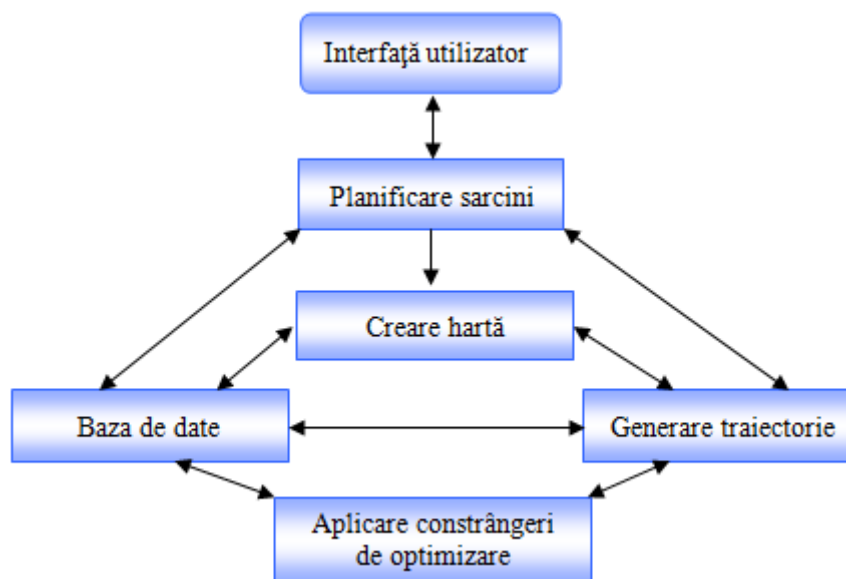


Fig. 5.30 Schema bloc a procesului de planificare a traiectoriilor RIM și RTM

Pachetul ARIA asigură și realizarea conexiunilor cu dispozitivele senzoriale de urmărire (sonar, laser, bara de protecție) și cu dispozitivele auxiliare (de ex. camerele video).

### 5.5.5 ALGORITMI ȘI MODULE PROGRAM PENTRU SISTEMUL VISION

#### 5.5.5.1 PACHETE SOFTWARE UTILIZATE

*Microsoft Visual Studio* este mediul de dezvoltare integrat (IDE - *Integrated Development Environment*) utilizat pentru a dezvolta aplicații cu interfețe grafice. Acest pachet oferă posibilități de editare cod sursă, compilare, executare, testare, depanare precum și de programare în: Microsoft Visual C++, Microsoft Visual C#, Microsoft Visual Basic, Microsoft Visual Web Developer, Team Foundation Server.

*OpenCV (Open Source Computer Vision)* este o bibliotecă cu acces liber la funcții de programare pentru sistemul vision care a fost utilizată pentru dezvoltarea aplicațiilor software destinate detectării feței, în cazul robotului RIM (v. subcap. 5.5.5.3) și recunoașterii obiectelor (cărților la raft) în vederea manipulării acestora în cazul RMT (v. subcap. 5.5.5.4).

*Emgu CV* este o bibliotecă de prelucrare a imaginilor, strâns legată de OpenCV, care a fost utilizată în aplicația de detectare, recunoaștere și urmărire a cărților la raft, pentru procesarea imaginii și detectarea zonelor în care se află text (v. subcap. 5.5.5.4.2).

#### 5.5.5.2

#### 5.5.5.3 DESCRIEREA METODEI ȘI ALGORITMULUI PENTRU DETECȚIA ȘI RECUNOAȘTEREA FEȚEI UTILIZATORULUI

În general, întregul proces de recunoaștere constă în trei pași: *deteția feței* dintr-un cadrul curent; *extragerea de caracteristici* prin procesarea zonei imaginii feței pentru o recunoaștere mai ușoară; *recunoașterea feței*, în cadrul căreia imaginea detectată și procesată este comparată cu o bază/galerie de imagini conținând fețe cunoscute.

În fig. 5.38 se prezintă schema logică a algoritmului de detectare și recunoașterea a feței, conceput pentru dezvoltarea aplicației SROSIB.

După pornire, camera video captează o succesiune de imagini care, de obicei, conțin și fondul și, uneori, chiar alte fețe. Detectarea feței din aceste imagini se bazează pe determinarea de trăsături de tip Haar pe subregiuni și identificarea prezenței feței cu ajutorul unui clasificator de tip cascadă. Fiecare față identificată, marcată cu un cerc, este vizualizată într-o fereastră ca rezultat al detectării (fig. 5.42). Acest rezultat este apoi comparat cu o imaginea de referință din baza de imagini pentru recunoaștere.

Implementarea algoritmului de detectare a feței s-a realizat în mediul de

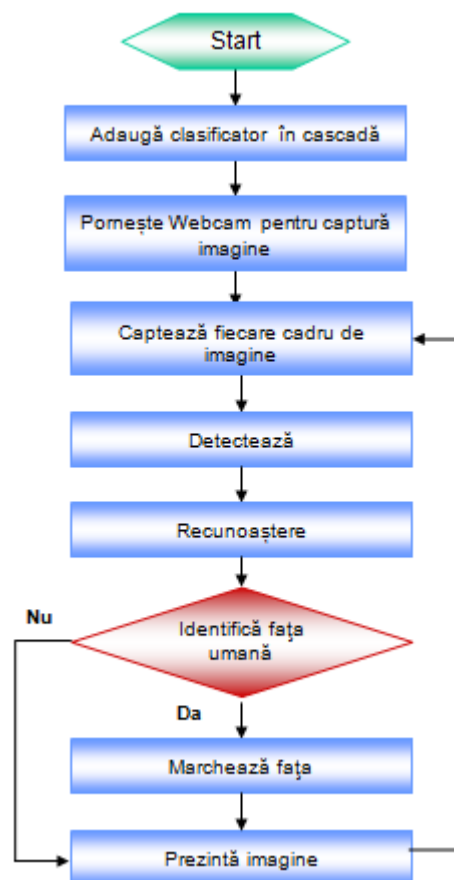


Fig. 5.38 Schema logică a algoritmului de detectare și recunoaștere a feței

programare C++, folosind OpenCV, deoarece acesta pune la dispoziție o bibliotecă dinamică (DLL - *Dynamic Link Library*) care permite modularizarea și reutilizarea codului, utilizarea eficientă a memoriei, încărcarea și executarea mai rapidă a programelor și ocupă mai puțin spațiu pe hard disk-ul computer-ului.

Metoda propusă combină Microsoft Visual Studio 2008 Express Edition C++ cu biblioteca funcțională OpenCV, folosind clasificatorul cascadă, bazat pe caracteristici Haar, pentru a proiecta aplicația software pentru detectarea feței utilizatorului [Pop, 2015c].

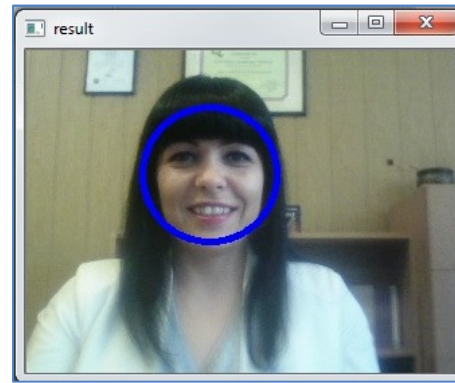


Fig. 5.42 Rezultatul detectării feței

#### 5.5.5.4 DESCRIEREA METODEI ȘI ALGORITMILOR PENTRU DETECȚIA ȘI RECUNOAȘTEREA CĂRȚILOR

Algoritmii de recunoaștere a obiectelor, în sistemele de supraveghere în timp real, necesită o detectare precisă a acestora și o complexitate computațională mai redusă [Lee, 2015]. Una dintre metodele cele mai eficiente în recunoașterea obiectelor, în timp real, are la bază algoritmul SURF (*Speeded Up Robust Feature*).

În cadrul sistemului SROSIB a fost dezvoltat un sistem de detectare, recunoaștere și urmărire a cărților solicitate de către utilizator, online, pe baza bibliotecii OpenCV, care include algoritmul SURF din pachetul Emgu CV.

##### 5.5.5.4.1 EXTRAGEREA CARACTERISTICILOR CĂRȚILOR CU AJUTORUL ALGORITMULUI SURF

Caracteristicile unei imagini ca o reprezentare simbolică a conținutului acesteia permit detectarea punctelor de interes și extragerea de caracteristici asociate acestora [Hassaballah, 2016]. Algoritmul SURF (fig. 5.43) determină/detectează pentru orice obiect/carte dintr-o imagine de intrare (raft/masă cu cărți) punctele de interes, pentru care sunt descrise caracteristici și generați vectori de interes. Deoarece, fiecărui punct de interes îi corespunde un descriptor (care conține un vector de 64 de elemente), se pune problema potrivirii caracteristicilor descrise de acesta cu cele ale obiectului detectat/căutat într-o bază de imagini de obiecte. Acest lucru este posibil utilizând, de exemplu, ca măsură, distanța euclidiană dintre cei doi vectori.

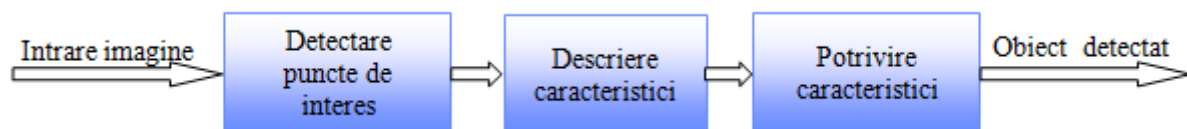
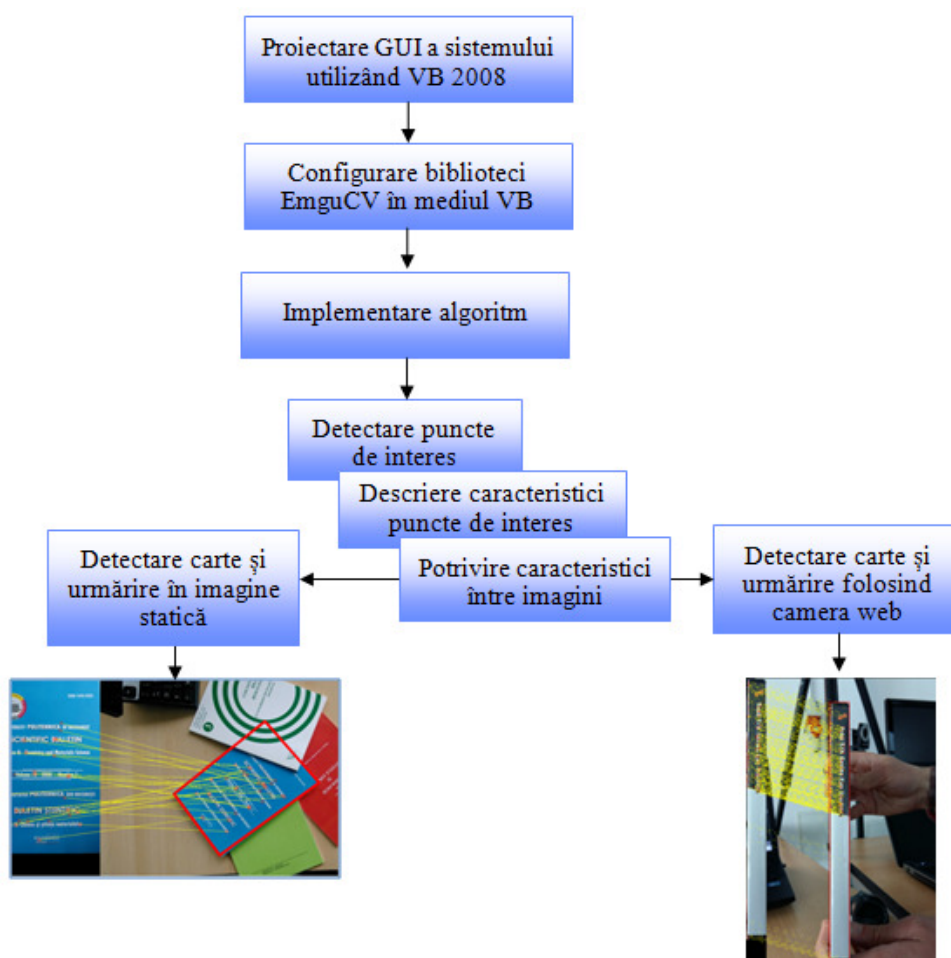


Fig. 5.43 Schema algoritmului SURF

##### 5.5.5.4.2 RECUNOAȘTEREA CĂRȚILOR

Algoritmul SURF este utilizat și pentru recunoașterea cărților datorită performanțelor sale deosebite, ca de exemplu: invarianța de scalare, invarianța de translație, de iluminare, de contrast și de rotație. În plus, pe lângă capacitățile de a extrage puncte cheie (puncte de interes) și descriptori unici dintr-o imagine, acesta poate detecta obiecte aflate pe imagini capturate în diferite setări extrinseci și intrinseci [Bhosale Swapnali, 2014].



*Fig. 5.45 Schema logică de implementare a algoritmului SURF în sistemul de detecție și urmărire a cărții*

Deteția obiectelor cu algoritmul SURF este mai puternică decât în cazul utilizării clasificatorului Haar, deoarece nu necesită instruirii îndelungate și anevoioase, dar timpul de detecție este ceva mai lung (câteva zeci de milisecunde), aspect ce nu deranjează fluxul de informare și documentare a utilizatorilor. Deoarece, această metodă este invariantă la rotație, este posibilă detectarea cu succes a cărților în orice orientare. Acest lucru este deosebit de util în cazul robotului RIM în situații în care trebuie să recunoască cărți care pot avea orientări diferite față de imaginea instruită, de exemplu, robotul a fost instruit cu imaginea verticală a unui cărții și trebuie să detecteze o carte care a căzut și poziția este alta.

Viteza de detecție, cu algoritmul SURF, se îmbunătățește prin: utilizarea imaginii integrale în calculul descriptorului, utilizarea matricei de aproximare Hessiană (detectarea punctelor de interes) orientarea descriptorului (opțional) și calculul descriptorului pentru extragerea trăsăturii punctului de interes [Panchal, 2013; Lee, 2015].

Schema logică detaliată de implementare a algoritmului SURF, din biblioteca Emgu CV, utilizat în sistemul de detectare, recunoaștere și urmărire a cărții este prezentată în fig. 5.45.

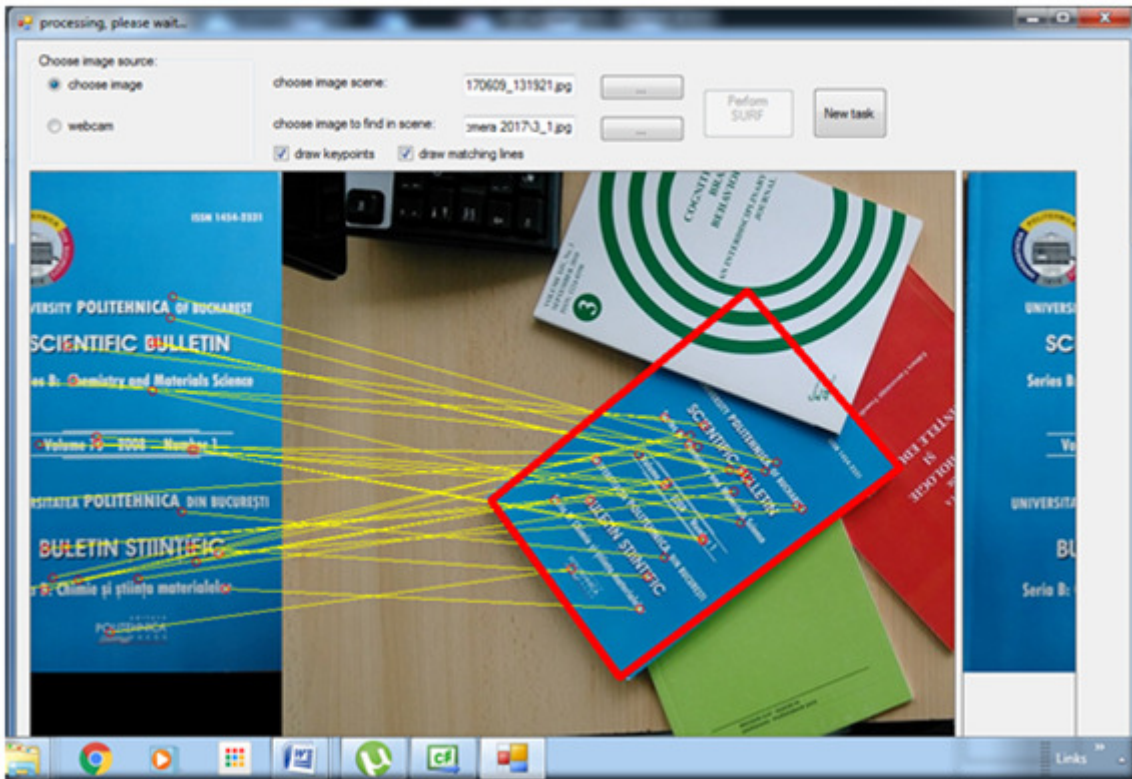
Aplicația software dezvoltată pentru detectarea cărților combină, funcțiile pachetului Microsoft Visual Studio 2008 Express Edition C# cu biblioteca funcțională OpenCV folosind algoritmul SURF din Emgu CV.

Dezvoltarea sistemului de detecție și recunoaștere a cărților a presupus, în primul rând, crearea unei interfețe grafice cu utilizatorul.

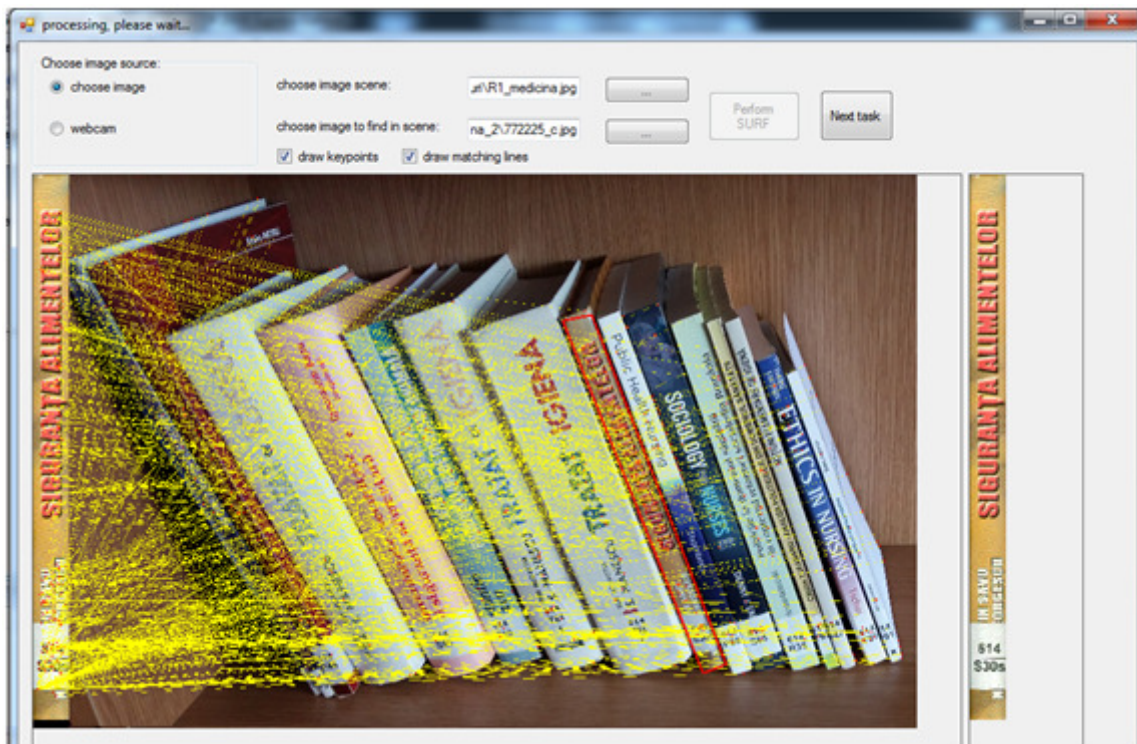
Interfața grafică a aplicației dezvoltate conține două casete/ferestre de imagini: în caseta din stânga se încarcă imaginea care conține obiectul căutat (imaginea interogată/imaginea scenă, de exemplu o carte de pe o masă sau dintr-un raft), iar în cea din

dreapta se încarcă imaginea de referință, a cărții care se dorește a fi găsită (șablonul de antrenare/imaginea obiectului căutat, de exemplu, coperta sau cotorul acesteia).

Pentru găsirea similarităților/potrivirilor dintre cele două imagini (imaginea scenă/imaginea cărții căutate) este selectat modul *Choose Image*.



*a*



*b*

**Fig. 5.47** Detectarea cărții utilizând extragerea caracteristicilor  
*a* – carte pusă pe o masă; *b* – carte așezată în raft



În plus, GUI va conține pe lângă imaginea afișată/video la nivel de fereastră, manipulatori de evenimente prin intermediul mouse-ului și tastaturii.

În fig. 5.47 se evidențiază căutarea unui cărți într-o imagine ce conține și alte cărți, așezate la întâmplare pe o masă (fig. 5.47, a) sau în raft (fig. 5.47,b).

Într-o primă etapă, ambele imagini sunt transformate în imagini cu tonuri de gri. Pentru detectarea punctelor de interes algoritmul SURF include o secvență care utilizează un detector de colț Hessian (*Hessian corner detector*) [Guo, 2015] care are la bază funcția *SURFDetector()* din biblioteca Emgu CV.

În etapa următoare, caracteristicile punctelor de interes ale imaginii obiectului căutat și ale imaginii interogate sunt extrase. În cele din urmă, în caseta din stânga (fig. 5.48) vor fi afișate ambele imagini, prin concatenarea șablonului de antrenare din dreapta, cu imaginea interogată din stânga, în timp ce sunt extrase punctele de interes și trasate liniile de potrivire dintre ele [Pop, 2017].

În urma detecției cărții, prin apăsarea butonului *PerformSURF*, în caseta din stânga, se extrag punctele de interes (regiunile marcate cu cerculeț roșu în fig. 5.47,a). Pentru fiecare regiune se determină un descriptor. Apoi se calculează o "distanță" între lista punctelor de interes din șablonul de antrenare (cartea căutată) și celălalt cadru (cartea găsită). În funcție de preferințele utilizatorului aplicației se poate opta pentru afișarea (fig. 5.47) sau neafișarea acestor caracteristici. Recunoașterea cărților și sau documentelor de informare folosind această aplicație este influențată de o serie de factori externi, dintre care cei mai importanți sunt: condițiile de iluminare, calitatea copertii, performanțele dispozitivului video, dimensiunea imaginii capturate etc. Pentru evaluarea performanțelor sistemului de recunoaștere dezvoltat, considerând o bază de imagini ale copertilor, respectiv ale cotoarelor cărților din bibliotecă, în subcap. 6.4.2 se vor prezenta teste experimentale în acest scop.

## 5.6 CONCLUZII

Modernizarea unei biblioteci constă, în primul rând, în dotarea cu tehnică de calcul și de comunicație pentru informatizarea avansată, precum și cu un sistem integrat care să permită automatizarea, robotizarea proceselor specifice (colectarea, gestionarea, prelucrarea, manipularea și stocarea documentelor, respectiv a informațiilor), în vederea îmbunătățirii produselor și serviciilor de informare și documentare pentru o valorificare completă a fondurilor documentare.

Acest capitol prezintă concepția, dezvoltarea și implementarea unui sistem robotizat de servicii specifice activităților din biblioteci numit SROSIB. Este descrisă dezvoltarea completă a acestui sistem, în primul rând structura funcțională, mediul în care acesta evoluează și conceptul de bază al metodei de implementare propuse. În cadrul SROSIB propus evoluează doi roboți mobili: unul fiind destinat satisfacerii nevoilor utilizatorilor, ca asistent de bibliotecă, pentru informarea și documentarea acestora, dar și pentru manipularea materialelor de bibliotecă ușoare, iar celălalt ca ajutor pentru bibliotecari, pentru manipulare și transport a cărților.

Obiectivele funcționale specifice ale sistemului SROSIB urmăresc: implementarea conceptului de raft inteligent, care permite dezvoltarea de aplicații cu un grad de complexitate ridicat; localizarea roboților în mediu de lucru din bibliotecă; deplasarea autonomă a roboților pentru a ajunge la destinații stabilite de utilizatori autorizați; realizarea de comunicații avansate atât cu dispozitivele auxiliare cât și cu utilizatorii serviciilor; recunoașterea mediului, cărților și utilizatorilor.

În acest context, se prezintă o descriere a arhitecturii hardware și software (modulele și pachetele existente) ale sistemului conceput, proiectat și dezvoltat pentru a interacționa cu utilizatorii/operatorii. Sistemul robotizat este compus din roboți cu platforme mobile pe patru roți, cărora li s-au atașat brațe de manipulare cu dispozitive de prehensiune. Aceștia au fost

echipați cu câte o camere video de detectare și recunoaștere a utilizatorilor/cărților și un detector de identificare prin radiofrecvență (RFID). Abordarea bazată pe fuziunea senzorială (cameră video și cititor RFID) a condus la o mai bună performanță pentru identificarea, detectarea, localizarea, urmărirea persoanelor și obiectelor.

Spațiul de lucru pentru realizarea experimentelor cu SROSIB este o sală de lectură, aflată în clădirea Institutului de Cercetare Dezvoltare Inovare al Universității *Transilvania* din Brașov. Unul dintre avantajele constă în faptul că sistemul dezvoltat poate fi reconfigurat pentru orice spații interioare, devenind astfel o structură de referință pentru servicii de informare, asistență și documentare.

Structura RIM dezvoltată are la bază platforma *Pioneer 3 All Terrain* (P3 - AT) pe care s-a montat manipulatorul *Pioneer2Arm* (5 DOF), dotat cu un dispozitiv de prehensiune adecvat prinderii documentelor ușoare (broșuri, reviste, CD-uri etc.); un monitor cu ecran tactil pentru comunicare interactivă camera video pentru monitorizarea mediului, obiectelor, utilizatorilor și un cititor RFID pentru identificarea documentelor.

În vederea identificării utilizatorilor și comunicării eficiente cu aceștia, pentru a interacționa prin intermediul ecranului tactil, s-a dezvoltat un sistem vision, utilizat pentru recunoașterea și localizarea persoanelor/obiectelor în spațiul de operare, prin intermediul unei camere video PWC2.

Access point-ul/router-ul wireless permite conectarea RIM la o rețea wireless cu acces la Internet, asigurându-se astfel, controlul la distanță și conectarea acestuia la o bază de date cu informații de interes.

Pentru manipularea cărților precum și transportul acestora în interiorul mediului de lucru s-a dezvoltat RMT pe platforma *PowerBot*, cu brațul de manipulare, *PowerCube*.

Pentru lansarea în execuție a aplicațiilor de informare și documentare (de detectare a feței, interfețe cu utilizatorul, detectarea și recunoașterea documentelor/cărților etc.), proiectate și implementate pe un calculator supervizor, se instalează un client/server VNC (*Virtual Network Computing*) pentru Windows, care să permită conectarea la RIM și RMT, prin intermediul unei conexiuni wireless.

Pentru a facilita utilizarea s-a conceput și implementat o interfață grafică cu dezvoltatorul/operatorul SROSIB, accesibilă prin display-ul calculatorului central. Această interfață permite accesul operatorului la baza de cunoștințe cu informații despre tipul și caracteristicile roboților, codurile planurilor de operații curente, adăugarea, editarea și ștergerea acestora.

În plus, a fost realizată și interfața de identificare a cărții cu evidențierea etapelor de conducere a robotului care urmează să se deplaseze la raft pentru preluarea unei cărți care este identificată, atât cu ajutorul camerei video cât și cu cititorul RFID.

Pentru localizarea și navigarea RIM și RTM în mediul de informare/documentare au fost proiectate și implementate aplicații ce permit: generarea hărții mediului; localizarea roboților în fața unui raft; deplasarea acestora în teritoriu limitat, dintr-un punct de start într-un punct țintă; evitarea obstacolelor fixe și mobile; prehensarea, manipularea și transportul obiectelor.

Pentru a asigura un nivel ridicat de fiabilitate a sistemelor, cercetarea cuprinde o colecție de metode, programe și algoritmi consacrați pentru estimarea stării RIM și RTM, controlul și interacțiunea cu utilizatorul.

Dintre algoritmi concepuți și dezvoltați se menționează: algoritmul de detectare și autentificare utilizator; algoritmul pentru detecția și recunoașterea feței utilizatorului; algoritmul pentru detecția și recunoașterea cărților.

## 6. APLICAȚII, SIMULĂRI ȘI STUDII EXPERIMENTALE

În capitolul 5 s-a conceput și dezvoltat SROSIB, într-o variantă originală, care include o platformă mobilă cu un braț de manipulare de dimensiuni reduse pentru servicii interactive de informare/documentare și manipulare documente cu mase și gabarite mici (RIM) și o altă platformă mobilă cu manipulator cu dimensiuni mult mărite pentru manipularea și transportul cărților. Acest sistem integrează tehnologii (de conducere, de comunicare, vision etc.) și echipamente moderne care corespund cu nevoile actuale de informare/documentare care au apărut din necesitatea îmbunătățirii serviciilor din biblioteca Universității *Transilvania* din Brașov. RIM, dar și RTM, cu un design neconvențional, se integrează perfect în mediul serviciilor din bibliotecile universitare asigurând accesul unei mari varietăți de utilizatori (studenți, masteranzi, doctoranzi, cercetători etc.)

Pentru a testa performanțele SROSIB, dezvoltat la nivel funcțional general în cap. 5, în cadrul acestui capitol s-au efectuat aplicații de integrare, simulări și teste, experimente în vederea validării acestuia la nivel de subsisteme componente, dar și la nivel de structură integrată.

### 6.1 PROGRAMAREA TESTELOR ȘI EXPERIMENTELOR

Studiile experimentale prezentate în acest capitol au fost structurate în următoarele direcții: localizarea și navigarea RIM și RTM în vederea deplasării autonome în mediul de lucru; detecția, recunoașterea și urmărirea fețelor/cărților online; validarea interfețelor grafice cu utilizatorii; evaluarea performanțelor RIM/RTM de execuție a operațiilor de manipulare, a fiecărui robot.

Testele experimentale de urmărire a traiectoriei programate, în mediul real, în prima fază, se vor face pentru un traseu simplu (în linie dreaptă), utilizând localizarea odometrică. Apoi, vor fi utilizate și datele furnizate de senzorii externi, pentru a evidenția precizia de localizare, în urmărirea unui traseu complex (compus din secvențele de localizare-navigare-urmărire simple), cu ocolirea obstacolelor fixe și mobile.

Simulările și testele experimentale de navigarea RIM/RTM au ca scop final planificarea traiectoriilor și controlul mișcărilor de urmărire, prin optimizarea parametrilor de deplasare (viteză, accelerație, timp).

În continuare, vor fi prezentate teste experimentale ale unor aplicații dezvoltate și implementate, bazate pe computer vision, de detectare și recunoaștere a feței utilizatorului, dar și de recunoaștere și urmărire a cărții la raft.

În plus, pentru studiul prehensării cărților, se prezintă studii experimentale de prindere și eliberare a acestora, urmărind stabilirea coeficienților de frecare între copertile cărților și bacurile prehensurului astfel încât manipularea și transferul acestora să se poată desfășura în siguranță.

În finalul capitolului se prezintă interfața grafică cu utilizatorul, concepută, dezvoltată, implementată și evaluată pentru aplicații concrete cu RIM.

### 6.2 SIMULĂRI ȘI TESTE EXPERIMENTALE DE NAVIGARE A RIM/RTM

Din punct de vedere al comportamentului, în general, RIM trebuie să-și poată observa în mod autonom aria de operare, să detecteze, să localizeze și să contacteze potențialii utilizatori, să interacționeze cu ei în mod continuu și să ofere în mod adecvat serviciile programate.

Cea mai uzuală metodă de localizare, folosită și în acest caz, a unei platforme mobile în medii structurate interioare, inclusiv, cele din biblioteci (v. subcap. 5.3) este metoda bazată pe hărți generate offline. În cazul aplicației de navigare a RIM și RTM harta mediului de lucru este generată cu modulul *Mapper3 Basic* din pachetul ARIA (v. subcap. 5.5.3.2) prin plasarea și editarea obstacolelor fixe (pereți, uși, piese de mobilier etc.), punctelor de start și revenire (*Home Point*); punctelor țintă la rafturi (fig. 6.1), zonelor interzise, stațiilor de realimentare etc. Astfel, pe harta realizată (fig. 6.1) se evidențiază obstacole fixe (inclusiv pereții laterali) marcate cu contururi negre, suprafețele cu crem și zonele interzise pentru roboți marcate cu linii galbene. Punctele marcate cu verde deschis reprezintă punctele de start și revenire (*Home Point*), iar punctele de culoare verde închis reprezintă țintele la care platformele mobile trebuie să ajungă.

Poziția curentă a RIM/RTM în spațiul de lucru descris de harta din fig. 6.1, la care se face referire în acest experiment, la momentul  $t$  este exprimată sub forma unui vector cu trei dimensiuni,  $[x, y, \theta]^T$ , unde  $x, y$  (*Position*) sunt coordonatele carteziene ale poziției robotului raportate la sistemul de coordonate fixat în punctul de start (*Home Point*), iar  $\theta$  (*Heading*), orientarea acestuia. În plus, în fig. 6.1 se evidențiază traiectoria platformei (marcată cu albastru) și, în partea inferioară a hărții, parametrii de deplasare, inclusiv viteza (*Velocity*) platformei în mm/s.

Platformele mobile ale RIM/RTM utilizează senzorii sonari (v. subcap. 5.4.1.2.2 pentru RIM și subcap. 5.4.2, pentru RTM), pentru a se autocaliza cu precizie pe harta generată anterior, îmbinând citirile de la sonare și calculul odometric cu ajutorul algoritmului de localizare MCL (*Monte Carlo Localization*). Această operație se realizează prin intermediul clasei de referință *ArSonarLocalizationTask* din librăria ARNL. În harta din fig. 6.1 se evidențiază în caseta din dreapta jos, marcat cu chenar roșu, indicatorul *Sonar Localization Score* ce reprezintă aprecierea suprapunerii reperelor de pe hartă cu cele măsurate (de ex. valoarea 0,599 este scorul de localizare curent). În cazul în care platforma nu este amplasată corect în punctul de pornire din mediul real (conform celui virtual de pe hartă), acesta nu va fi capabilă să se autocalizeze corect în timpul deplasării, ceea ce conduce la erori de localizare.

După editare, datele hărții sunt salvate în fișierul *ProDD.map*, folosind modulul *MobileBasic3*. Fișierul este ulterior selectat/încărcat în interfața *MobileSim*, care permite calibrarea, localizarea și urmărirea deplasării platformei mobile în mediu simulat.

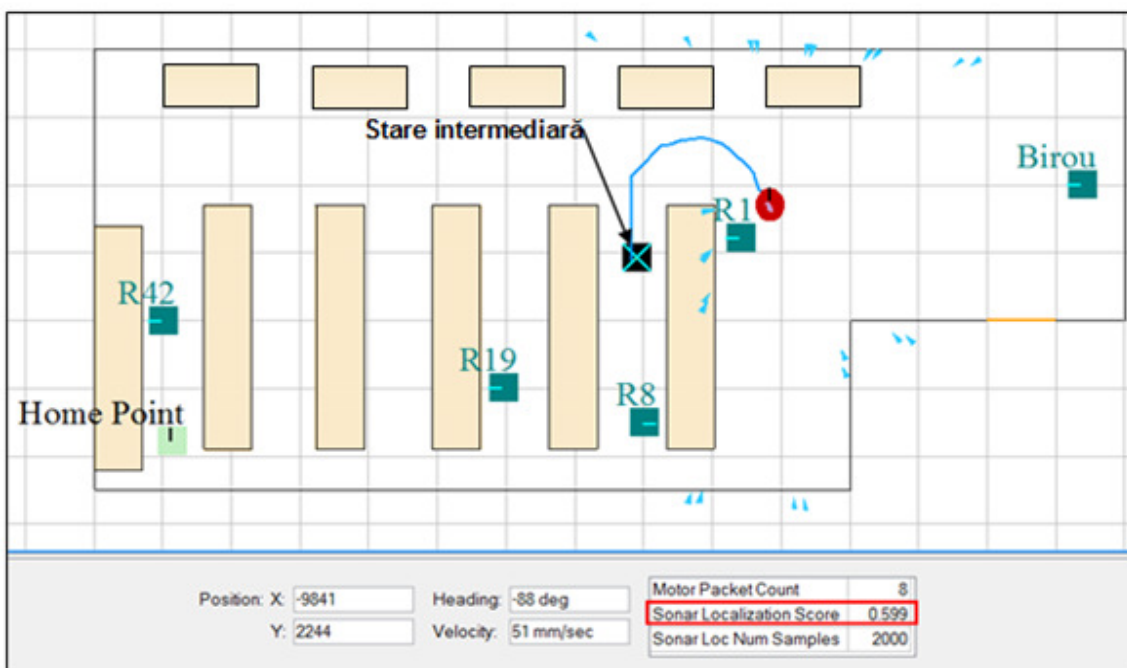


Fig. 6.1 Harta mediului de lucru generată pentru experimente

Experimentele de navigare în mediul de lucru au avut ca scop urmărirea preciziei de navigare în mediu parțial cunoscut, caracterizată prin menținerea traiectoriei impuse, în cazul apariției obstacolelor statice (pereți, piese de mobilier etc.), respectiv dinamice (utilizatori, cealaltă platformă), precum și în situația în care apar diferite abateri care modifică poziționarea și orientarea robotului. Testele experimentale dezvoltate implică navigarea RIM/RTM de-a lungul unor traiectorii generate anterior în mediul virtual, cu considerarea obstacolelor statice.

Planificarea traiectoriilor între pozițiile intermediare (de ex. pozițiile *R1*, *R8*, *R19*, *R42* dintre rafturile cu cărți, conform fig. 6.1) s-a realizat offline cu modulul *MobileEyes* care oferă și o interfață grafică ce permite și simularea deplasării platformei mobile pe baza hărții, realizate cu modulul *MobileBasic3*.

Testele experimentale s-au realizat pe baza unui plan ce conține următorii pași: generarea în mediului de operare virtual (harta) cu obstacole statice a traiectoriilor; pregătirea robotului pentru testare (alimentarea bateriei, încărcarea hărții); simularea traiectoriilor de navigare cu modulul *MobileSim*; efectuarea testelor de navigare a robotului în mediul real sub controlul modulului *MobileEyes*; analiza și interpretarea rezultatelor.

În timpul procesului de navigare, conform traiectoriilor impuse, evaluarea urmăririi acestora se bazează pe date obținute de la senzorii externi și/sau de la cei interni (prin odometrie), incluse în bucle de control dedicate. Astfel, preliminar, pentru a evidenția efectele induse de considerarea datelor de la o grupă sau de la alta de senzori s-a realizat *un test experimental* prin care s-a urmărit navigarea pe un subtraseu simplu (linie dreaptă) bazat, în prima fază, pe date obținute numai de la senzorii interni folosind ca metodă de localizare odometria (v. subcap. 3.4.1.3) și în a doua fază considerând și datele preluate și de la senzorii externi.

În fig. 6.4 se prezintă subtraseul *AB*, cu lungimea de 3,6 m și lățimea minimă între rafturi 1 m, care va fi parcurs cu plecare din punctul *A*, deplasare până în *B*, întoarcere la 180° și revenire la poziția inițială, în punctul *A*.

În cadrul testelor repetate efectuate s-au realizat măsurători manuale (cu rigla, ruleta) pentru determinarea pozițiilor intermediare/finale ale platformei mobile în raport cu repere fixe (pereți și rafturi).

Înainte de realizarea experimentelor de urmărire a traiectoriei impuse, pentru cazul real s-a realizat simularea parcurgerii acestuia, pentru a evidenția erorile provenite în urma măsurării prin odometrie (din cauza alinierii defectuoase a roților, alunecării acestora, modificării diametrului roților prin uzura cauciucului sau umflarea/dezumflarea inegală a acestora etc.).

În urma experimentelor efectuate s-a observat că urmărirea traiectoriei programate doar pe baza odometriei nu este suficientă, datorită erorilor de deplasare semnificative (abateri, erori de poziționare la sosire de  $\pm 0,2$ ), motiv pentru care, în continuare, s-a recurs și la utilizarea senzorilor externi de tip sonar.

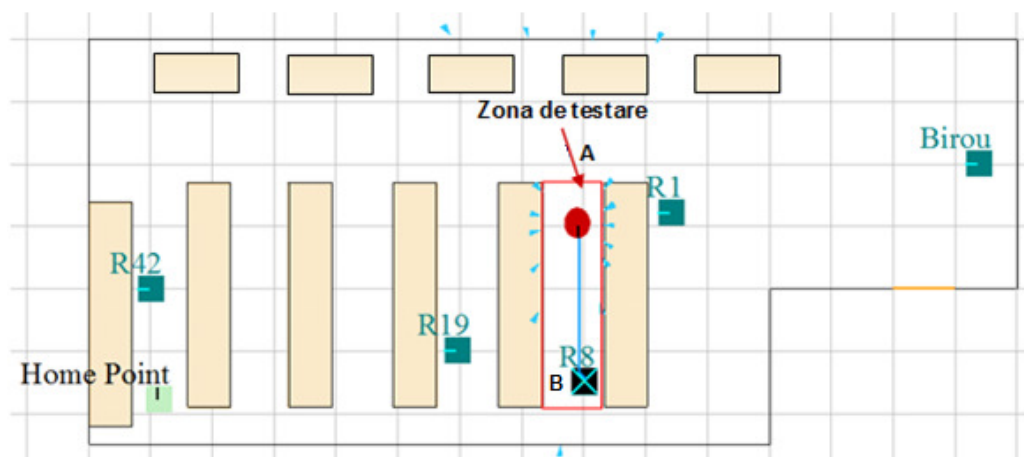
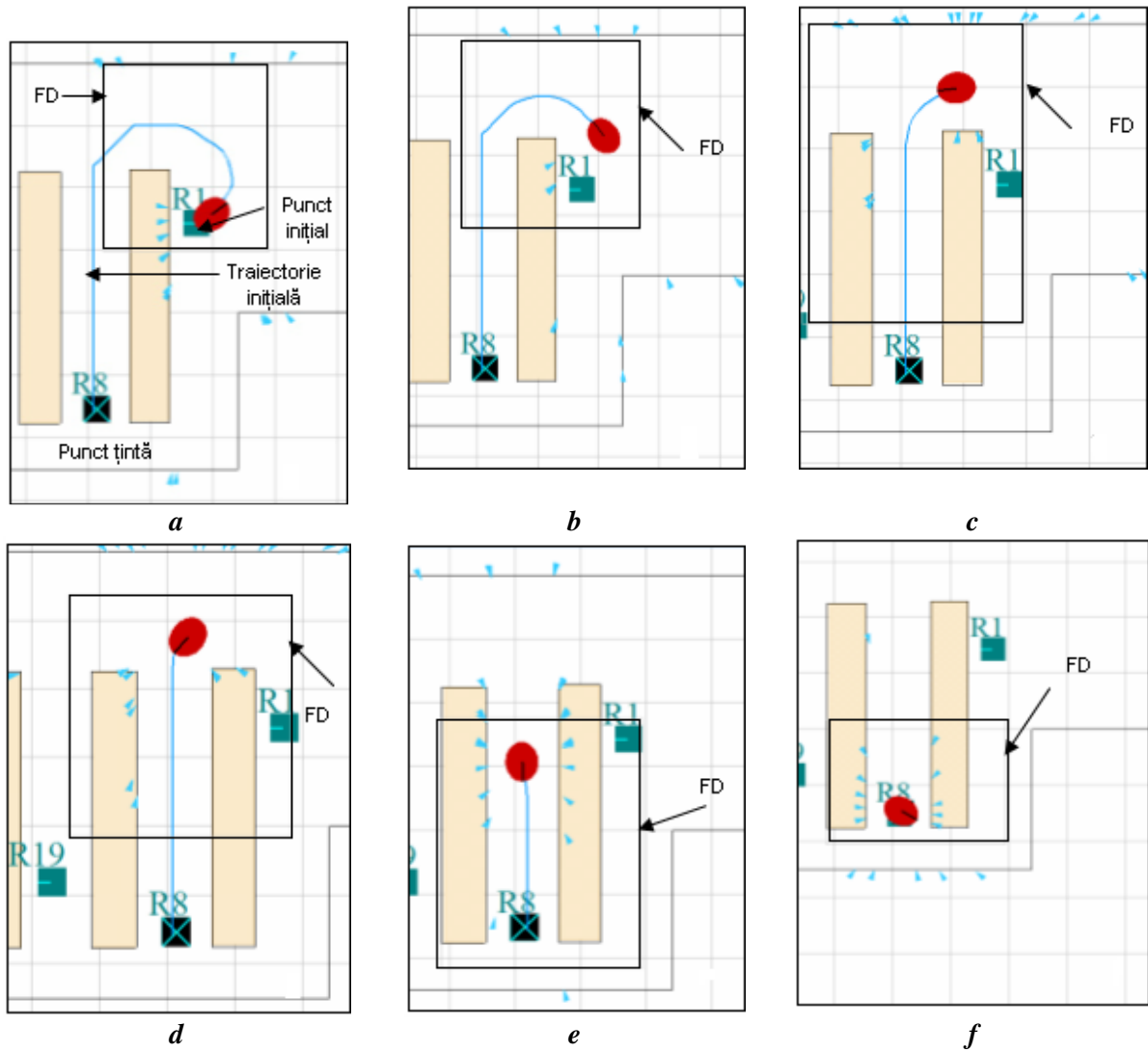


Fig. 6.4 Harta zonei de lucru cu evidențierea subtraseului primului test experimental, preliminar (prin considerarea numai a odometriei)



**Fig. 6.6** Evoluția navigării RIM cu ocolirea obstacolelor fixe:  
*a* – secvența de plecare; *b,c,d,e* – secvențe intermediare; *f* – secvența de sosire

Pentru evidențierea comportării RIM/RTM la navigarea cu ocolirea obstacolelor fixe s-a realizat al doilea test, considerând subtraseul prezentat în fig. 6.6. Astfel, se va urmări traiectoria de deplasare a RIM, din punctul de start din dreptul raftului *R1* spre raftul *R8* în punctul țintă, ocolind rafturile adiacente.

Programul de navigare autonomă a prevăzut menținerea unei distanțe prestabilite față de obstacole (0,25 m) astfel încât platforma să nu intre în coliziune cu acestea. Preliminar s-au setat parametrii robotului (de poziție, orientare, viteză, accelerație, rază de acțiune etc.) și ai senzorilor externi (gamă de detecție, timp de răspuns, rezoluție etc.).

Traectoria de deplasare a fost planificată și simulată anterior. Astfel, procesul de urmărirea a traiectoriei inițiale presupune parcurgerea succesivă a mai multor secvențe localizare-modificare-urmărire, până la atingerea punctului țintă.

Urmărirea online a evoluției navigării cu ocolirea obstacolelor se face cu interfața de simulare (*MobileSim*).

În fig. 6.6 se prezintă secvențe de plecare/sosire și intermediare marcate prin ferestre dinamice (*FD*) asociate zonelor locale în care se evidențiază modificări ale traiectoriei inițiale, în funcție de informațiile de localizare de la senzori. Ferestrele dinamice se repositionează succesiv, până când ultima poziție include punctul țintă.

Testele experimentale de navigare finale au fost realizate în același mediu de lucru cu obstacole fixe, dar și cu obstacole dinamice și urmăresc parcurgerea unei traiectorii complexe compusă din mai multe secvențe: secvența 1 (fig. 6.8,a) – pornire din punctul de plecare (*Home Point, R44*), unde se face alimentarea, deplasare până la atingerea punctul ținta *R8*; secvența 2 (fig. 6.8,b) – deplasare din punctul *R8* înspre zona de destinație *BR*; secvența 3 (fig. 6.8,c) – deplasare spre punctul inițial de plecare (*Home Point, R44*), cu ocolirea obstacolelor dinamice (utilizator aflat în mișcare și/sau cealaltă platformă mobilă, în deplasare).

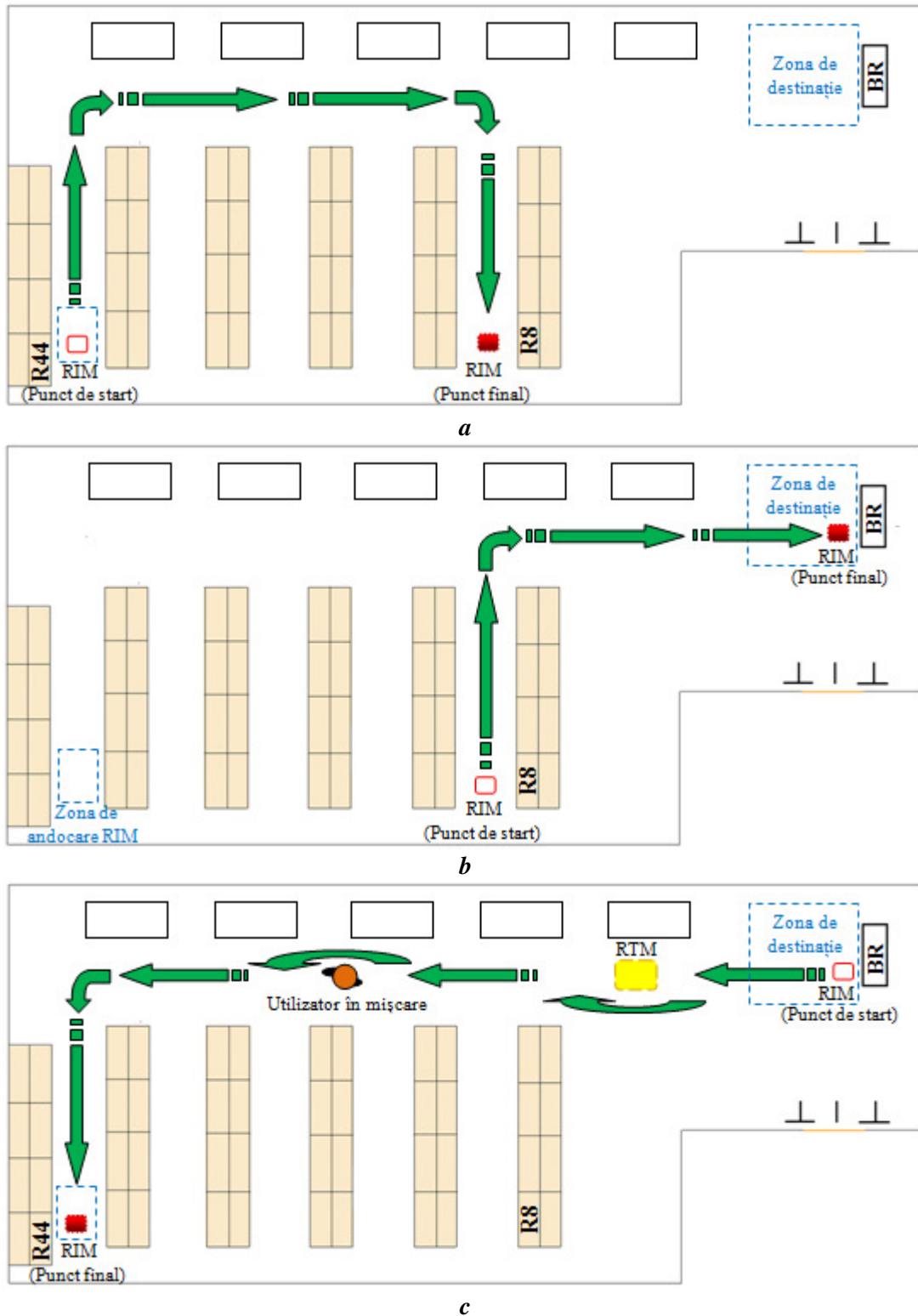


Fig. 6.8 Planificarea deplasărilor RIM/RTM pentru testele experimentale cu obstacole fixe și dinamice: *a* – secvența 1 (*R44-R8*); *b* – secvența 2 (*R8-BR*); *c* – secvența 3 (*BR-R44*)

Pentru planificarea deplasărilor în cadrul procesului de navigare conform celor trei secvențe s-au utilizat secvențele de localizare-navigare-urmărire, dezvoltate în cadrul testelor preliminare, care au fost salvate în baza de secvențe elementare. Astfel, preliminar s-a stabilit un sistem de coordonate global, care are originea în punctul de alimentare (v. fig. 6.1). Pozițiile opririlor intermediare și ale destinației (punctul final) sunt definite în sistemul de coordonate global. În urma planificării și simulării traiectoriei în mediul virtual a fost adoptată o traiectorie optimă pentru a conecta toate secvențele scenariului de navigare.

Problema majoră care a apărut în timpul experimentelor de urmărire a traiectoriei programate a fost determinată de erorile de poziționare și orientare, strâns legate de vitezele de deplasare ale platformei mobile. După câteva ajustări ale vitezei s-a adoptat viteza adecvată care a condus la erori minime.

Experimentele de navigare repetitive au fost realizate pentru două cazuri: deplasarea robotului într-un mediu cu obstacole statice și deplasarea robotului într-un mediu cu obstacole statice și dinamice. Pentru fiecare caz s-au efectuat 20 de teste reținându-se prin intermediul interfeței *MobileSim* distanțele parcurse și timpii asociați în condițiile respectării distanțelor impuse până la obstacole.

### 6.2.1 ANALIZA ȘI INTERPRETAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE DE NAVIGARE

În fig. 6.9 și 6.10 se prezintă variațiile timpului și, respectiv, lungimii traiectoriei pentru cele 20 seturi de valori corespunzătoare navigării RIM, considerând mediul de lucru cu obstacole statice. În acest caz, timpul mediu de deplasare de la punctul de start la punctul țintă este 18,500 s, iar valoarea lungimii medii parcurse este 6,4707 m.

În acest caz, timpul mediu de deplasare de la punctul de start la punctul țintă este 22,500 s, iar valoarea lungimii medii parcurse, 6,6481 m.

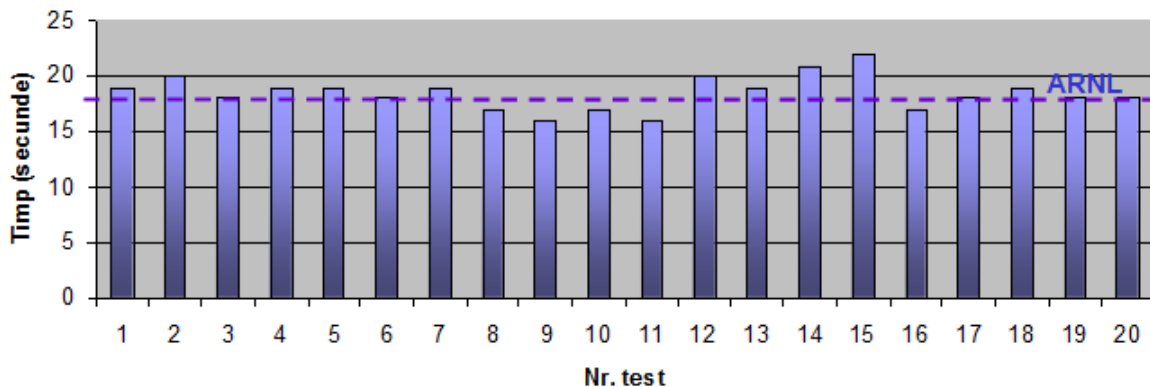


Fig. 6.9 Variația timpului de deplasare în cazul navigării în mediul cu obstacole statice

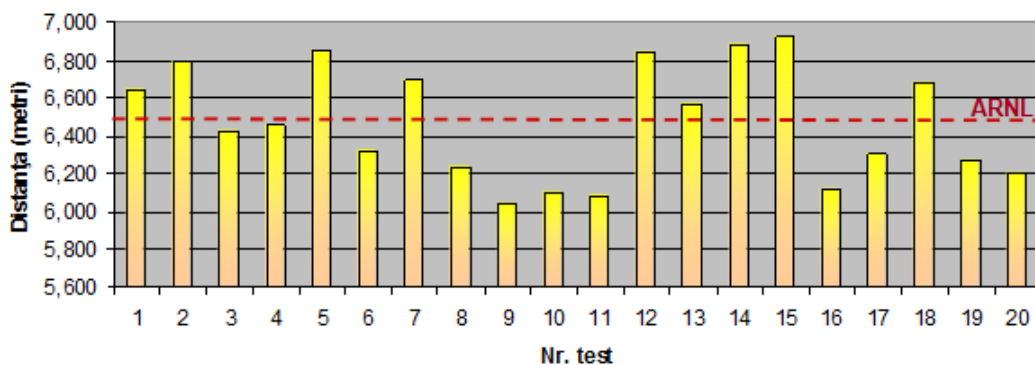


Fig. 6.10 Variația distanțelor parcurse în cazul navigării în mediul de lucru cu obstacole statice



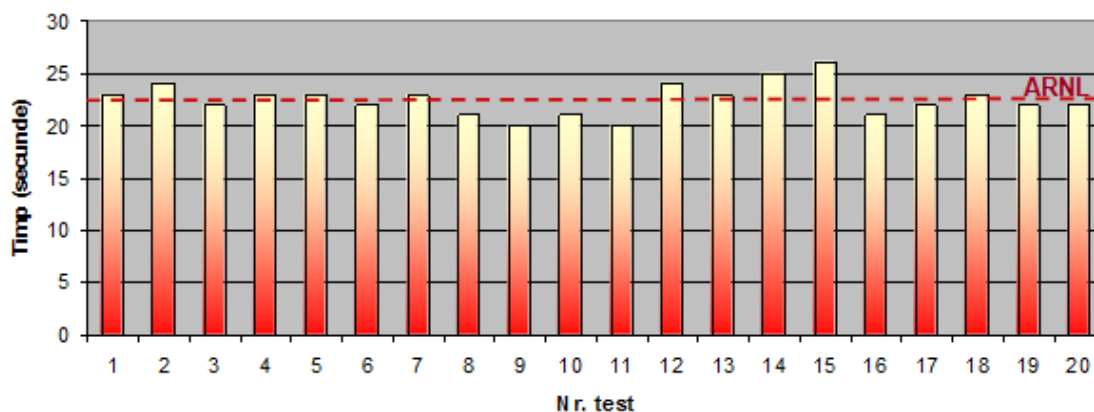


Fig. 6.11 Variația timpilor de deplasare în cazul navigării în mediul cu obstacole statice și dinamice

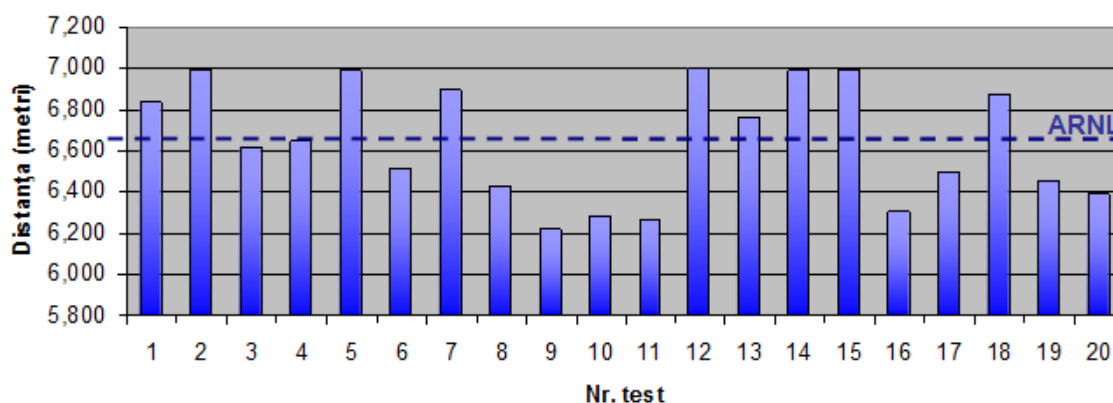


Fig. 6.12 Variația distanțelor parcurse în cazul navigării în mediul cu obstacole statice și dinamice

Din aceste date rezultă că viteza medie de deplasare a RIM este de 0,3497 m/s la deplasarea în mediul de lucru cu obstacole statice și 0,2954 m/s în cazul navigării în mediul de lucru cu obstacole statice și dinamice.

Se poate observa că cele două valori ale vitezelor medii de navigare a RIM sunt acceptabile pentru medii în care există utilizatori umani, în condițiile în care viteza maximă a platformei P3-AT este de 0,7 m/s.

Pentru cazul real, în care distanța de parcurs este de 6 m, timpul de deplasare înregistrat, în mediul cu obstacole statice, este de 17,1575 s.

În cazul deplasării în mediul de lucru cu obstacole statice și dinamice, după traiectoriile generate cu modulul *MobilSim*, distanța de deplasare a RIM fiind de 6 m (ca și în cazul precedent), timpul înregistrat este de 20,3114 s. Diferența de timp de 3,1539 s reprezintă, în acest caz, timpul mediu realizat de RIM pentru ocolirea obstacolelor dinamice.

## 6.3 TESTE EXPERIMENTALE DE DETECȚIE ȘI RECUNOAȘTERE A FEȚEI

### 6.3.2 REZULTATELE TESTELOR EXPERIMENTALE

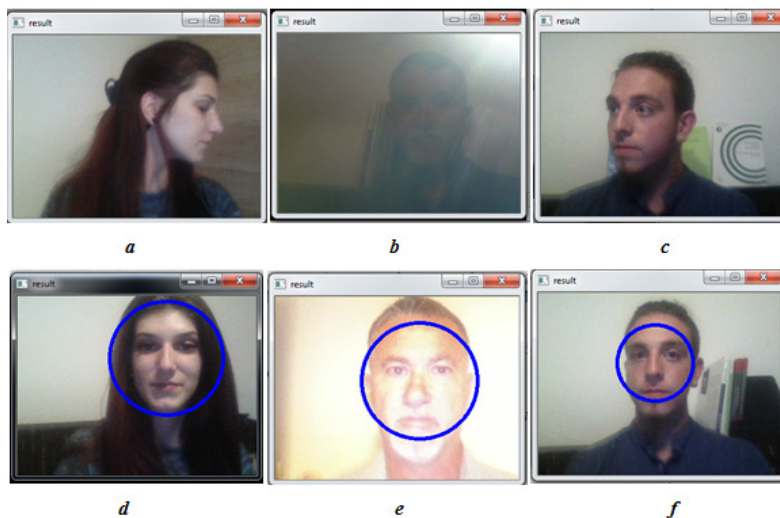
Baza de imagini, utilizată pentru experimentele de detecție și recunoaștere a feței conține câte un set de minim 5 imagini distincte pentru un număr total de 5 de persoane, fiecare imagine cu dimensiunile 50x50 pixeli, folosește 256 tonuri de gri.

Acestea prezintă variații din punctul de vedere al orientării, rotației în planul imaginii (de până la  $\pm 15^\circ$ ), scalării de reprezentare (de până la 15%) și expresiei feței în diferite condiții de iluminare controlată. În experimentele efectuate am alocat setului de antrenare în

mod aleator un număr de maxim 5 imagini (din totalul de 10) ale fiecărei persoane, iar restul au format setul de testare.

Pe parcursul experimentelor realizate, au apărut, în unele cadre, erori ale funcțiilor de detecție a fețelor, mai cu seamă în medii cu luminozitate variabilă (de ex. schimbarea iluminării la aprinderea becurilor) care au condus la nerecunoașterea utilizatorului (fig. 6.18,a,b,c), dar acestea au reprezentat un procent relativ neglijabil.

În urma evaluării performanțelor sistemului de detecție și recunoaștere facială s-a constatat că sistemul are eficiență bună în identificarea persoanelor, utilizarea unui factor de 1,5 de la o scalare a dimensiunilor feței, la alta a condus la cele mai bune rezultate (fig. 6.18,d,e,f), cu aprox. 5% rata de eșec. Pe de altă parte, în urma testelor experimentale s-a constatat că atunci când nu există variații mari de luminozitate sau de orientare a feței, algoritmul de recunoaștere are acuratețea acceptabilă, utilizatorii pot fi reperați de la o distanță suficient de mare (aprox. 2 m).



**Fig. 6.18** Rezultatul detecției în condiții de luminozitate și de orientare a feței diferite:  
a, b, c – detecție fals pozitivă; d, e, f – detecție corectă

## 6.4 TESTE EXPERIMENTALE DE DETECȚIE ȘI RECUNOAȘTERE A CĂRȚILOR

### 6.4.2 REZULTATELE TESTELOR EXPERIMENTALE

Pentru a evalua performanța de recunoaștere a sistemului s-a creat o bază de imagini cu 100 de capturi video ale cotoarelor unor cărți din diferite domenii (robotică, medicină, informatică etc.) existente în Biblioteca Universității *Transilvania* din Brașov.

Pentru imaginile de interogare/scenă, s-au captat 10 imagini cu rafturi de carte, în condiții de poziționare (orientare) și de iluminare diferite.

Luminozitatea încăperii cu rafturi reprezintă factorul cel mai greu controlabil, dar care are cel mai mare impact asupra performanței sistemului de detecție și recunoaștere a cărții la raft.

Ținând cont de faptul că, în cazul unei luminozități variabile, contrastul dintre cotorul cărții căutate și imaginea de fundal a raftului poate să se modifice frecvent se va realiza teste de performanță ale aplicației de detecție și recunoaștere a cotorului cărților pentru diverse situații de schimbare bruscă a luminozității.

Testele experimentale efectuate au avut drept scop evaluarea performanței de recunoaștere a cărții, exprimată în procente, în cazul în care condițiile de luminozitate se schimbă brusc. Astfel s-au efectuat 60 de teste cu diferite cărți aflate în raft, luând în considerare contrastul cărții și fundal.

În urma analizării rezultatelor obținute s-a constatat că în cazul unui contrast mare, procentul de recunoaștere este de aprox. 96%; în cazul contrastului mediu, schimbarea bruscă a luminozității determină scăderea procentului de recunoaștere la 48%, iar în cazul unui contrast mic, indiferent de condițiile de luminozitate, procentul de recunoaștere a cărții scade la 1% .

## 6.5 STUDII EXPERIMENTALE PRIVIND PREHENSAREA ȘI MANIPULAREA DOCUMENTELOR/CĂRȚILOR

### 6.5.1 TESTE EXPERIMENTALE DE PREHENSARE A CĂRȚILOR

#### 6.5.1.1 INSTALAȚIA ȘI PROGRAMUL DE TESTARE

Pentru testele experimentale de prehensare a cărții a fost utilizată instalația din fig. 6.23, existentă în Laboratorul de Organe de Mașini din cadrul Universității *Transilvania* din Brașov. Aceasta este compusă din următoarele sisteme principale: pneumatic de încărcare/descărcare, pentru realizarea forțelor de prindere; senzorial compus din doi senzori, unul de forță și celălalt de deplasare; de achiziție și prelucrare a datelor [Cioplea, 2018].

Senzorul de forță cu traductor rezistiv de tip AEP (*Automatizări Electropneumatice și Pneumatice*), este capabil să măsoare o forță de max. 5000 N, cu o acuratețe de 0,018 % și a fost montat pe tija cilindrului pneumatic înaintea bacului 1 (fig. 6.24).

Senzorul de deplasare cu traductor liniar inductiv de tip AEP, este capabil să măsoare max. 100 mm, cu o acuratețe de 0,1% .

Pentru realizarea experimentelor de prehensare a cărților, în primul rând se pune în funcțiune compresorul și se reglează pentru a furniza aer comprimat la presiunea de lucru (7 bari și un debit de 200 l/min). Procesul de testare se dezvoltă în două etape.

Prima presupune prinderea (fixarea) cărții între bacuri, ca urmare a acționării manuale a distribuitorului, ce alimentează cilindrul pneumatic cu dublu efect și cu amortizare pneumatică reglabilă la capăt de cursă, care apasă (fixează) cartea (poziționată cu cotorul în sus) între cele două bacuri cu o forță măsurată de senzorul de forță (fig. 6.23 și fig. 6.24); în această poziție se fixează tija senzorului de deplasare în contact cu cotorul cărții.

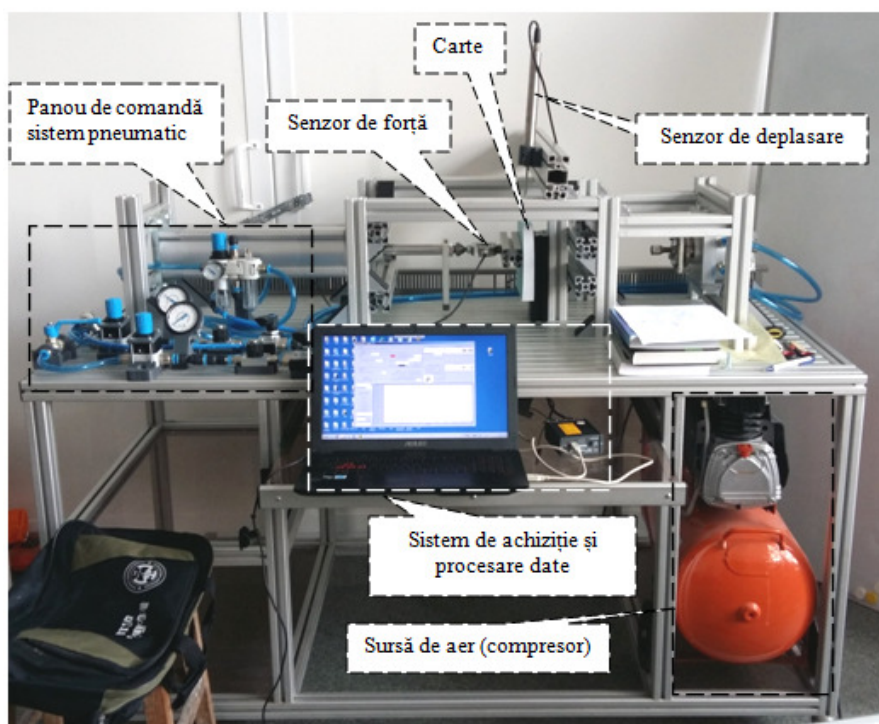


Fig. 6.23 Instalația de măsurare a forței de prindere

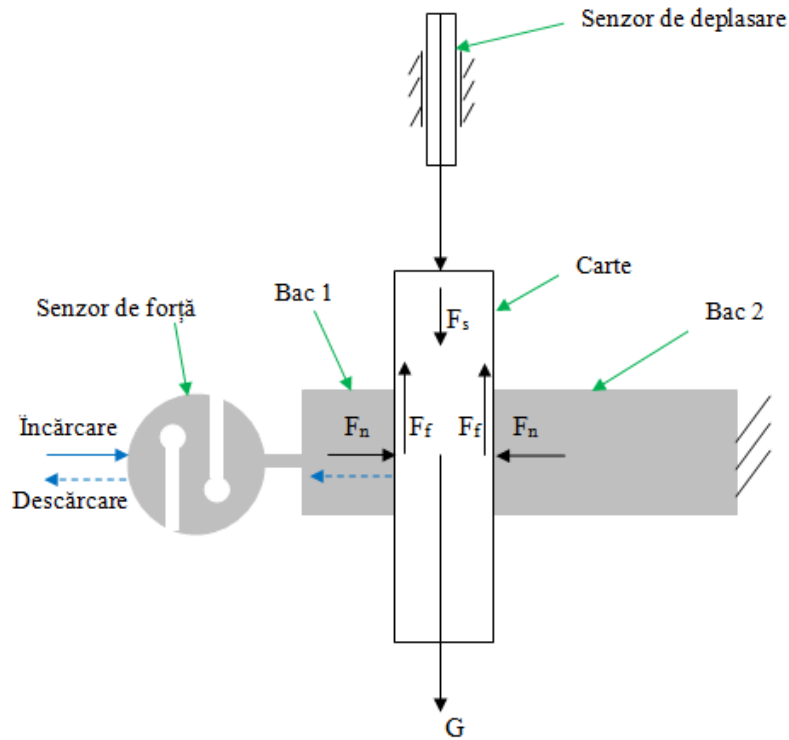


Fig. 6.24 Schema forțelor care acționează asupra cărții în timpul experimentelor

Cea de-a doua etapă presupune scăderea (descărcarea) lentă a forței de încărcare prin intermediul unei supape de control a evacuării aerului din cilindrul pneumatic. În această etapă se va măsura continuu valoarea forței de apăsare și valoarea indicată de senzorul de deplasare, urmărind sesizarea valorii acestei forțe în momentul în care senzorul de deplasare sesizează dislocarea (căderea) cărții dintre cele două bacuri.

În fig. 6.24 se prezintă forțele care apar în zonele de contact ale cărții cu bacurile instalației în timpul celor două etape ale procesului experimental. Astfel, se evidențiază următoarele forțe:  $F_n$ , forța normală de apăsare (măsurată de senzorul de forță) care crește de la zero la încărcare (etapa I) și scade la zero la descărcare (etapa a II a);  $F_f = \mu F_n$ , forțele de frecare dintre bacuri și carte ( $\mu$ , reprezintă coeficientul de frecare static);  $G = mg$ , greutatea cărții cu masa  $m$  ( $g$ , reprezintă accelerația gravitațională);  $F_s$ , forța de contact cu senzorul de deplasare.

Din relația de echilibru a forțelor în direcție verticală, ținând cont de descrierile de mai sus,

$$mg - 2\mu F_n + F_s = 0, \quad (6.1)$$

rezultă,

$$\mu = \frac{mg + F_s}{2F_n} \quad (6.2)$$

În cazul în care cursa inițială a senzorului de deplasare este redusă (max. 10,5 mm) se poate considera forța de contact a senzorului de deplasare,  $F_s \approx 0$ , rezultă coeficientul de frecare,

$$\mu = \frac{mg}{2F_n}. \quad (6.3)$$

În vederea stabilirii valorilor coeficienților de frecare pentru diverse tipuri de bacuri de

prindere precum și de coperți ale cărților s-au realizat experimente de prehensiune, în contact cu bacuri din aluminiu și cu bacuri pe care s-au lipit benzi din cauciuc, cu trei cărți care au coperțile din carton mat și lucios.

Pentru achiziția datelor de la senzorii instalației s-a utilizat softul *WinTa2USB* instalat pe un laptop conectat la senzorii instalației. Interfața grafică a acestui pachet este prezentată în fig. 6.25, unde datele rezultate sunt afișate numeric tabelar, precum și grafic. Totodată pachetul software oferă posibilitatea exportului datelor numerice în fișiere Excel.

În funcție de acuratețea setată la valorile asigurate de senzori, software-ul garantează achiziția unui număr de date, aprox. 10000 în fiecare secundă.

Pentru achiziția datelor, referitoare la mărimea forței de apăsare (prindere) a cărții, exprimată în [N], a fost utilizat canalul 1, iar pentru achiziția datelor de deplasare, exprimată în [mm], canalul 3 (fig. 6.25). În timpul procesului de încărcare și descărcare, respectiv de prindere și eliberare, a cărții apare fereastra din fig. 6.25 în care se evidențiază continuu variațiile valorilor achiziționate prin cele două canale.

### 6.5.1.2 ANALIZA ȘI INTERPRETAREA REZULTATELOR

Deoarece, pentru prehensiunea cărților cu dispozitive montate la partea finală a manipuloarelor, este necesar să se determine coeficienții de frecare dintre acestea și bacurile de prindere, în continuare, se vor urmări experimental procesele la limita de desprindere a cărților, când forța de prindere (strângere) scade continuu, pentru cazuri diferite, ale perechilor suprafețelor bac-copertă. Astfel, se va urmări cu precădere, determinarea valorii forței de apăsare  $F_n$  (în modul) la momentul desprinderii (alunecării) cărții dintre bacuri, care înlocuiește în rel. 6.3 conduce la valoarea coeficientului de frecare la alunecare,  $\mu$ .

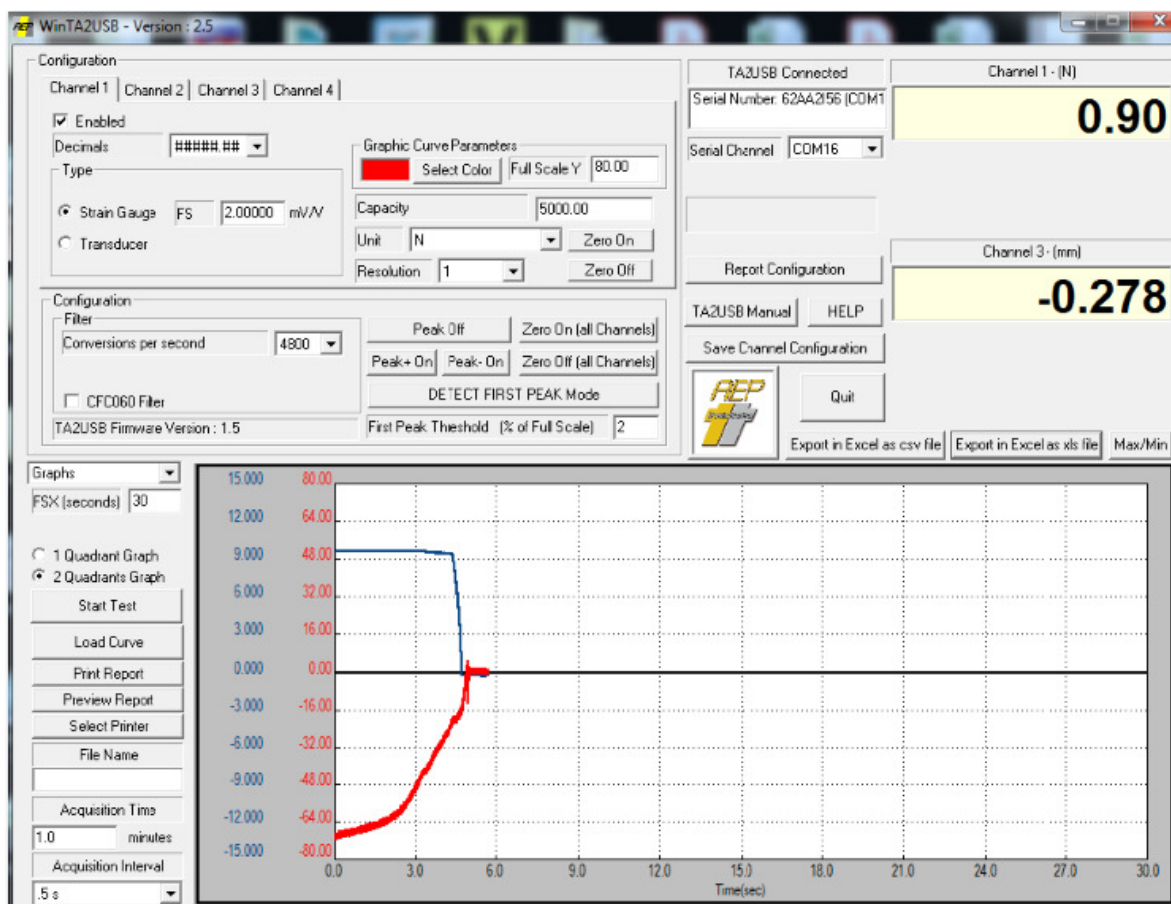


Fig. 6.25 Interfața software-ului WinTa2USB

În tab. 6.3, 6.4, 6.5 și 6.6 se prezintă secvențe de date înregistrate în cele patru cazuri experimentale de prindere/eliberare cu:

- I. bacuri din aluminiu a unei cărți cu masa,  $m = 0,7 \text{ Kg}$  și coperti mate;
- II. bacuri din aluminiu a unei cărți cu masa,  $m = 1,11 \text{ Kg}$  și coperti lucioase;
- III. bacuri cu benzi din cauciuc a unei cărți cu masa  $m = 0,7 \text{ Kg}$  și coperti mate;
- IV. bacuri cu benzi din cauciuc a unei cărți cu masa  $m = 1,11 \text{ Kg}$  și coperti lucioase.

**Tab. 6.3** Secvență de date corespunzătoare cazului I (bac aluminiu – coperti mate)

<i>Nr. crt.</i>	<i>Timpul [s]</i>	<i>Forța de apăsare [N]</i>	<i>Deplasarea tijeii senzorului [mm]</i>	<i>Obs.</i>
1.	5,2398	17,0	9,808	Cartea este solidară cu bacurile
2.	5,2399	17,2	9,808	
3.	5,2400	17,2	9,808	Începe alunecarea cărții
4.	5,2500	16,4	9,714	Cartea cade
5.	5,2600	15,6	9,674	
6.	5,2700	16,4	9,594	

**Tab. 6.4** Secvență de date corespunzătoare cazului II (bac aluminiu – coperti lucioase)

<i>Nr. crt.</i>	<i>Timpul [s]</i>	<i>Forța de apăsare [N]</i>	<i>Deplasarea tijeii senzorului [mm]</i>	<i>Obs.</i>
1.	1,5083	37,9	10,042	Cartea este solidară cu bacurile
2.	1,5205	38,2	10,042	
3.	1,5238	38,3	10,036	Începe alunecarea cărții
4.	1,5834	37,1	9,972	Cartea cade
5.	1,585	36,9	9,970	
6.	1,6728	35,9	9,948	

**Tab. 6.5** Secvență de date corespunzătoare cazului III (bac cu benzi din cauciuc – coperti mate)

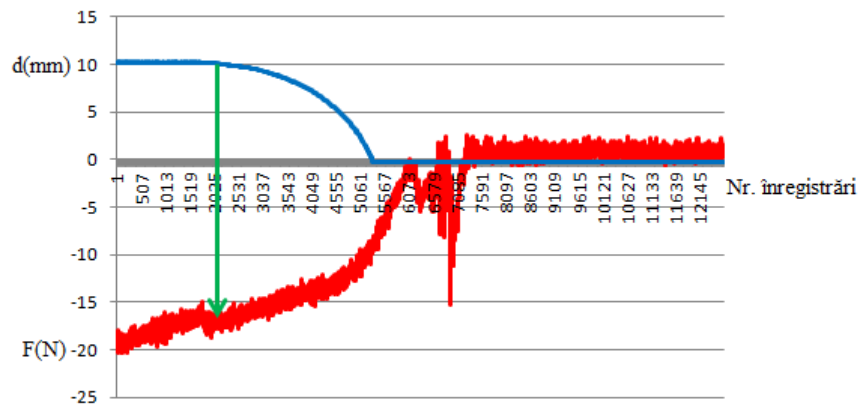
<i>Nr. crt.</i>	<i>Timpul [s]</i>	<i>Forța de apăsare [N]</i>	<i>Deplasarea tijeii senzorului [mm]</i>	<i>Obs.</i>
1.	5,4850	2,9	10,306	Cartea este solidară cu bacurile
2.	5,4851	3,2	10,306	
3.	5,4980	4,9	10,286	Începe alunecarea cărții
4.	5,5188	2,2	10,206	Cartea cade
5.	5,5266	1,6	10,018	
6.	5,5372	1,1	9,350	

**Tab. 6.6** Secvență de date corespunzătoare cazului IV (bac cu benzi din cauciuc – copertă lucioasă)

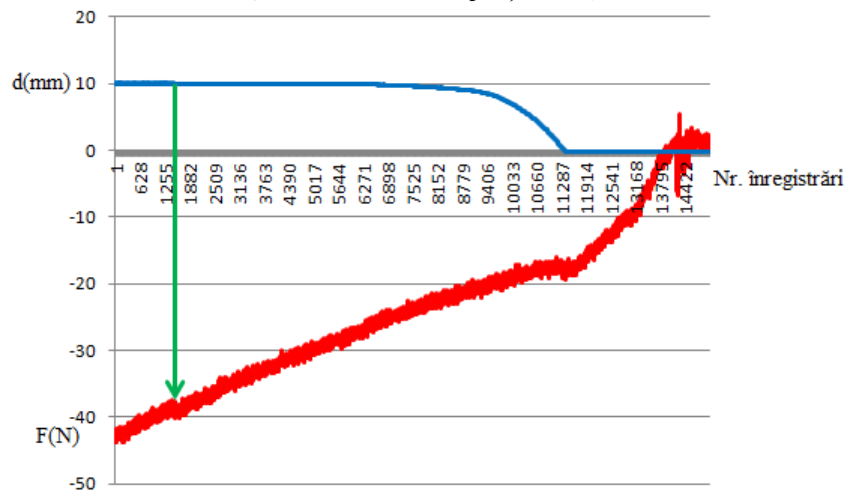
<i>Nr. crt.</i>	<i>Timpul [s]</i>	<i>Forța de apăsare [N]</i>	<i>Deplasarea tijeii senzorului [mm]</i>	<i>Obs.</i>
1.	1,9232	8,3	10,266	Cartea este solidară cu bacurile
2.	1,9233	9,3	10,266	
3.	1,9344	9,6	10,226	Începe alunecarea cărții
4.	1,9566	9,0	10,198	Cartea cade
5.	2,0231	7,0	10,174	
6.	2,0537	6,0	10,11	

În aceste tabele se evidențiază linia de date (marcată cu bleu) care indică procesul de desprindere (începere a alunecării) cărții prin evidențierea descreșterii valorilor forței de apăsare odată cu scăderea valorilor deplasării tijeii senzorului.

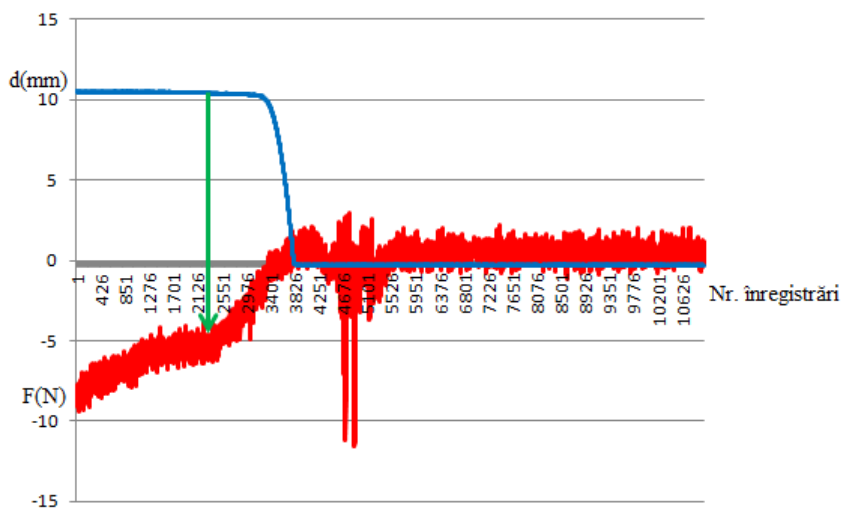
Astfel, se observă că, pentru cele patru cazuri, forțele de apăsare la desprindere ( $F_n$ ) au valorile 17,2 N, 38,3 N, 4,9 N și 9,6 N, corespunzătoare deplasărilor tijeii senzorului, 9,808 mm, 10,036 mm, 10,286 mm și respectiv, 10,226 mm.



**Fig. 6.26** Variațiile forței de apăsare și deplasării tijei senzorului, la desprindere, în cazul I (bac aluminiu – coperți mate)



**Fig. 6.27** Variațiile forței de apăsare și deplasării tijei senzorului la desprindere în cazul II (bac aluminiu – coperți lucioase)



**Fig. 6.28** Variațiile forței de apăsare și deplasării tijei senzorului, la desprindere, în cazul III (bac cu benzi din cauciuc – coperți mate)

Aceste valori se evidențiază și în fig. 6.26, 6.27, 6.28 și 6.29 (v. săgeata verde) în care se prezintă variațiile celor doi parametrii (forța de apăsare și deplasarea tijei senzorului) în perioadele de desprindere (alunecare) a cărților dintre bacuri.

Ca urmare a înlocuirii valorilor maselor  $m$  și forțelor de apăsare la desprindere  $F_n$ , în relația (6.3) se obțin valorile coeficienților de frecare bac-coperță,  $\mu$  (tab. 6.7).

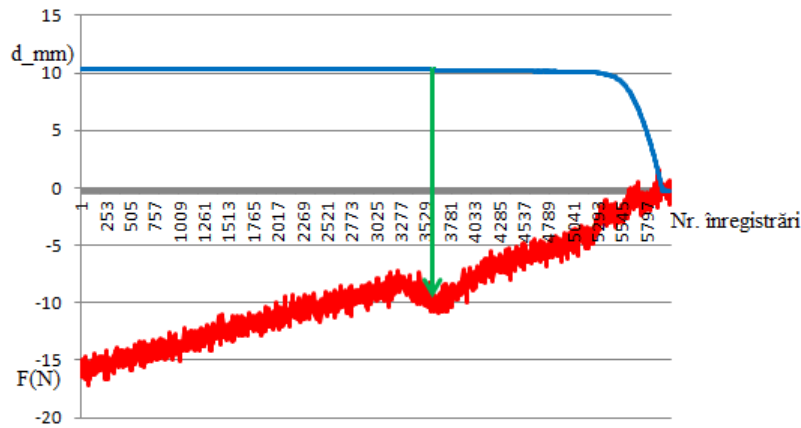


Fig. 6.29 Variațiile forței de apăsare și deplasării tijeii senzorului, la desprindere, în cazul IV (bac cu benzi din cauciuc–coperți lucioase)

Tab. 6.7 Rezultatele testelor experimentale privind valoarea coeficientului de frecare

Cazul	Tipul suprafeței de contact a bacului	Tipul suprafeței de contact a cărții	Forța de apăsare la alunecare [N]	Masa cărții [kg]	Valoarea coeficientului de frecare (rel.6.3)
I.	Aluminiu	Mată	17,2	0,700	0,1994
II.		Lucioasă	38,3	1,110	0,1420
III.	Cauciuc	Mată	4,9	0,700	0,7
IV.		Lucioasă	9,6	1,110	0,5666

În urma experimentelor efectuate se observă, pe de-o parte, că pentru prinderea cărților cu coperți lucioase, coeficienții de frecare au valori mai mici decât în cazurile prinderii cărților cu coperți mate și pe de altă parte, în cazul bacurilor cu benzi din cauciuc, rezultă valori mai mari ale coeficienților de frecare decât în cazul bacurilor din aluminiu (tab. 6.7).

Valorile coeficienților de frecare obținute experimental se introduc în baza de date care descrie caracteristicile cărților în corelație cu tipul suprafeței bacului prehensivului.

## 6.5.2 TESTE EXPERIMENTALE DE MANIPULARE A DOCUMENTELOR/CĂRȚILOR

În scopul simplificării procesului de manipulare a cărților în biblioteci, se impun anumite ipoteze preliminare: dimensiunile, masa (min. 0,07 Kg, max. 2 Kg), grosimea maximă/minimă a cărților manipulate (2/0,5 cm), poziția verticală a acestora pe raft, tipul materialului copertelor (carton, plastic, textil), aspectul suprafeței copertelor (mată, semilucioasă, lucioasă).

### 6.5.2.1 PLANIFICAREA TESTELOR

La baza experimentelor prezentate în acest subcapitol au stat traiectoriile planificate anterior. Urmărirea acestor traiectorii s-a făcut bazat pe secvențe diferite, pentru acționarea simultană a cuplurilor cinematice ale brațelor robotice RIM/RTM.

Mediul de acțiune propus pentru primul experiment, realizat cu manipulatorul *P2Arm* este un spațiu care are suprafața de aprox. 0,2 m<sup>2</sup> și punctul țintă, materializat în centrul de greutate al carcusei unui CD. Pentru experimentul realizat cu manipulatorul *PowerCube*, mediul de acțiune propus este un spațiu care are suprafața de aprox. 0,6 m<sup>2</sup> (fig. 6.31,a)



materializată prin suprafața unei polițe a unui raft de bibliotecă și punctul țintă, materializat în centrul de greutate al cărții.

### 6.5.2.2 REALIZAREA EXPERIMENTELOR DE MANIPULARE ȘI TRANSPORT

Pentru realizarea experimentelor de manipulare și transport cu RIM/RTM s-au montat, pe cele două bacuri ale prehensorului, benzi dreptunghiulare din material aderent (cauciuc), pentru a asigura o mai bună prindere a documentelor (broșuri, reviste, CD-uri, DVD-uri etc.)/cărților și menținerea acestora pe parcursul operațiilor de manipulare și transport.

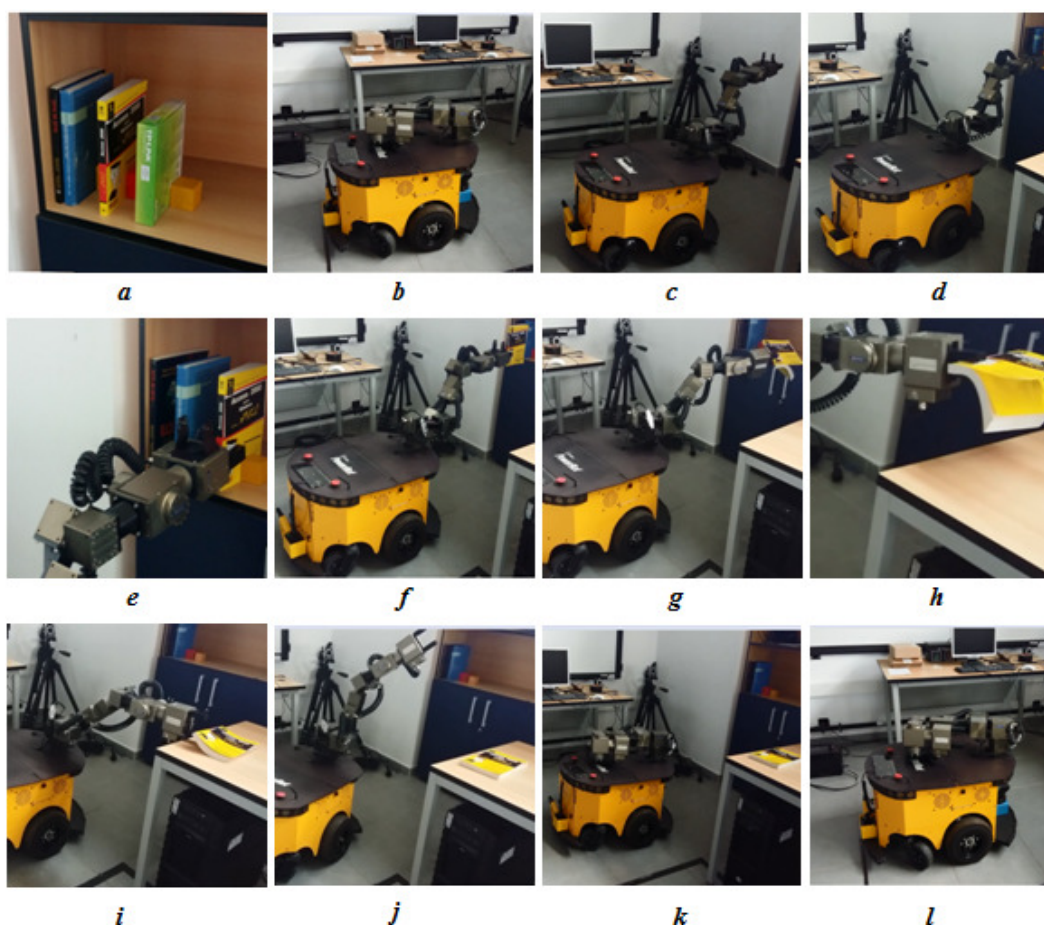
Experimentele de manipulare efectuate au presupus parcurgerea următoarelor etape: identificarea documentului/cărții și poziționarea prehensorului în fața acestuia; prinderea; ridicarea și scoaterea acestora de pe raft; deplasarea spre zona utilizatorului sau a locului de depunere; eliberarea; revenirea manipulatorului la poziția inițială.

În fig. 6.31, se evidențiază poziții inițiale/finale și intermediare ale procesului de manipulare a unei cărți (0,8 kg).

Pentru experimentele dezvoltate cu RIM și RTM în cadrul acestei lucrări, localizarea obiectelor în mediul de lucru s-a realizat pe baza fuziunii datelor primite de la senzorii externi.

Identificarea documentului/cărții după poziționarea brațelor RIM/RTM, în dreptul acestuia s-a realizat utilizând metoda identificării prin RFID (v. subcap. 2.8.3).

Înainte de prindere RIM/RTM preia din baza de date informațiile referitoare la dimensiuni, greutate, coeficientul de frecare etc., cu ajutorul etichetei RFID atașate fiecărui document/carte, fiind capabil să-și programeze operațiile necesare (prinderea, rotirea și forța de strângere) pentru extragerea, manipulara și transportul CD-ului/cărții.



**Fig. 6.31** Secvențe de manipulare și transport cu RTM: **a** – poziția inițială a obiectului țintă (carte); **b** – poziția inițială a manipulatorului; **c, d, e** – preluare/ manipulare carte; **f, g, h, i** – transfer/transport carte; **j** – eliberare carte; **k, l** – revenire manipulator la poziția anterioară

Pentru a verifica eficacitatea algoritmilor propuși, pentru localizarea cărții la raft și pentru deplasarea RIM/RTM în mediul de acțiune, a fost implementat următorul scenariu: deplasarea pe un traseu prestabilit către obiectul țintă (CD/carte); preluarea/manipularea obiectului țintă; transferul (transportul) pe o traiectorie prestabilită; eliberarea obiectului în poziția impusă; revenire la poziția anterioară.

### 6.5.2.3 ANALIZA ȘI INTERPRETAREA REZULTATELOR DE MANIPULARE

În timpul experimentelor de prehensare, manipulare și transport au fost urmărite secvență cu secvență deplasările roboților spre punctul de identificare a obiectului de manipulat, precizia de atingere a țintei, manipularea documentului/cărții, deplasarea spre zona de destinație, eliberarea și revenirea la poziția inițială.

Variațiile timpilor rezultați în urma a câte 10 teste pentru îndeplinirea operațiilor de manipulare CD/carte sunt prezentate în graficele din fig. 6.32,a pentru RIM și, respectiv, fig. 6.32,b pentru RTM.

Astfel, pentru fiecare din cele două cazuri de manipulare și transport, rezultă valorile timpilor medii pentru atingerea țăintelor finale, 27,6 s și, respectiv 68,9 s (fig. 6.32).

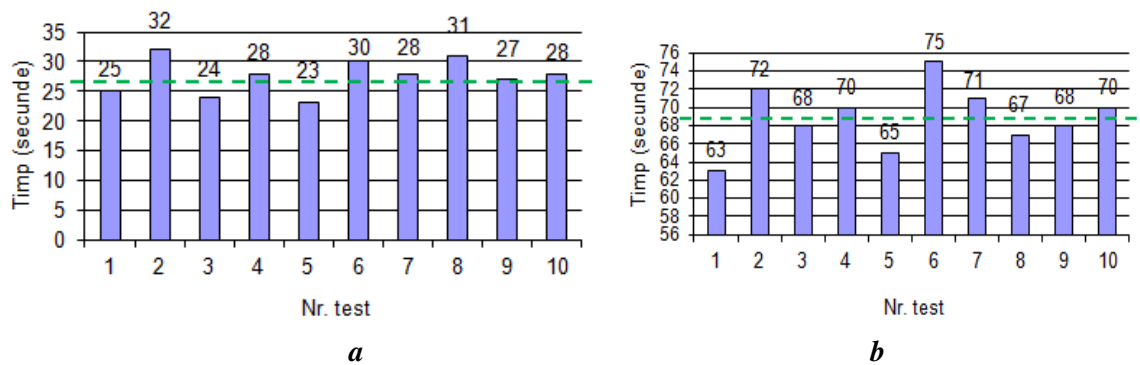


Fig. 6.32 Timpul înregistrat pentru manipularea: **a** – CD-ului; **b** – cărții

Pe parcursul experimentelor nu s-au evidențiat coliziuni semnificative cu obstacolele din mediu și se apreciază că traiectoriile reale obținute au fost replici fidele ale traiectoriilor planificate. Implementarea în mediul real și rezultatele prezentate au înregistrat mici abateri, care însă au fost remediate pe parcursul experimentelor, confirmând robustețea algoritmilor și validând rezultatele teoretice.

## 6.6 EXPERIMENTE PRIVIND INTERACȚIUNEA SROSIB CU UTILIZATORII

### 6.6.2 IMPLEMENTAREA INTERFEȚEI GRAFICE CU UTILIZATORUL

În implementarea interfeței de operare cu ecranul tactil s-au luat în considerare o serie de cerințe specifice: comunicare cât mai naturală astfel încât efortul uman de adaptare să fie insesizabil; format grafic atractiv și modern (de tip multimedia); suprafețe senzitive suficient de mari pentru selectare ușoară; înlocuirea modalităților clasice de selecție cu mouse-ul (double-click, drag, drop etc.) cu simple apăsări pe ecran și/sau prin voce [\*\*\*6].

Pentru realizarea acestei interfețe au fost utilizate, în principal, tehnologiile web: HTML (*Hyper Text Markup Language*), CSS (*Cascade Style Sheets*) și JavaScript, care permit integrarea de obiecte 3D, grafică vectorială, multimedia. Interfața grafică cu utilizatorul a fost structurată utilizând elemente semantice specifice limbajului HTML 5 (fig.

6.33): *header* (antet) pentru a evidenția în partea de sus a paginii titlul, în cazul de față "Biblioteca Universității Transilvania din Brașov" (fig. 6.34); *nav* identifică o secțiune a interfeței web, cuprinzând meniurile principale care permit legături cu alte pagini (interfețe, submeniuri) din aceeași aplicație web sau spre secțiuni din aceeași pagină; *section* este utilizat pentru a identifica o grupare tematică de conținut. În cazul de față este utilizat pentru a oferi informații generale despre bibliotecă.

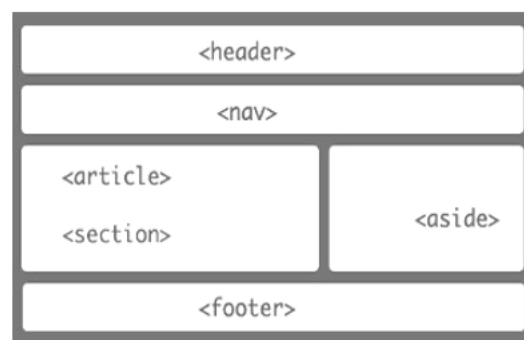


Fig. 6.33 Elemente structurale HTML5

Elementul *article* este utilizat pentru a identifica o secțiune cu conținut independent, de ex. pentru a integra, în interfața grafică pentru touch-screen, filmul de prezentare a bibliotecii universitare.

Elementul *aside* care încorporează locații de conținut ca bare laterale, inserări sau scurte explicații a fost utilizat pentru a prezenta: achizițiile recente de carte pe domenii de interes, publicațiile ce urmează a fi achiziționate și topul celor mai împrumutate cărți.

Elementul footer reprezintă partea inferioară a paginii, conține linkuri către documente conexe (site-ul bibliotecii, google etc.), date de contact (adresă, telefon, e-mail), date despre copyright.



Fig. 6.34 Interfața grafică cu utilizatorul – pagina principală

### 6.6.3 TESTARE ȘI VALIDARE

Scopul testării interfeței *InfoLibrary* este de a detecta și elimina toate bug-urile (erorile) software. Pentru aceasta am testat legăturile de navigare (link-urile) integrate în text,

imagine, funcționalitatea conținutului video ce prezintă un tur virtual al bibliotecii, dinamica imaginilor ce prezintă colecțiile bibliotecii și funcționalitatea tab-urilor din secțiunea *aside*.

Fiind bazată pe specificațiile de program și nu pe cod, *testarea funcțională* evidențiază deficiențele și inconsistența specificațiilor (satisfacerea cerințelor funcționale).

*Testarea pentru compatibilitate* presupune verificarea tuturor sistemelor de operare-țintă (inclusiv a celor pentru servere, dacă este cazul) pe care trebuie să ruleze aplicația interfeței cu utilizatorii.

*Testarea de utilizabilitate* presupune evaluarea interfeței grafice prin folosirea acesteia de mai mulți utilizatori, urmărind măsurarea capacității aplicației de a îndeplini scopurile pentru care a fost creată precum ușurința de utilizare. Pentru acesta am oferit utilizatorilor posibilitatea de a accesa un formular de feedback, accesibil din pagina principală (fig. 6.34) pentru sesizări, sugestii și reclamații.

Testarea interfeței grafice a fost realizată de 10 de operatori care au completat un chestionar (v. anexa 9) ce stă la baza cuantificării informațiilor legate de interacțiunea utilizator – SROSIB. Chestionarul conține 6 întrebări referitoare la utilizabilitatea interfeței grafice InfoLibrary, la ușurința cu care un utilizator o accesează. Răspunsurile la întrebările din acest chestionar, au fost cuantificate utilizând o scală de tip Likert cu cinci niveluri de valori: 5 = foarte mulțumit, 4 = mulțumit, 3 = indiferent, 2 = nemulțumit 1= foarte nemulțumit.

În urma analizării rezultatelor s-a constatat că interfața grafică *InfoLiberty* este utilizabilă, fiind creată pentru a veni în sprijinul utilizatorilor bibliotecii, pentru a avea acces la SROSIB, dar și la alte informații și resurse utile.

## 6.7 CONCLUZII

Acest capitol prezintă aplicații de integrare, simulări și studii experimentale în scopul validării sistemului SROSIB atât la nivel de subsisteme componente, cât și de structură integrată.

Ca urmare, informația din acest capitol a fost structurată în două direcții principale: simularea și testarea experimentală privind RIM/RTM în mediul de informare/documentare și implementarea și testarea experimentală a unor aplicații de informare și interacțiune.

Studiile experimentale descrise în prima parte a acestui capitol se referă la: localizarea și navigarea RIM și RTM, în vederea deplasării autonome; detecția, recunoașterea și urmărirea fețelor/cărților online; validarea interfețe grafice a RIM cu utilizatorii; evaluarea performanțelor RIM/RTM de execuție a operațiilor de manipulare, compuse din secvențe elementare ce vor putea fi învățate și salvate în baza de cunoștințe a fiecărui robot.

Testarea RIM/RTM, în mediul real, s-a efectuat în urma simulărilor realizate în mediul virtual urmărind harta de navigare (cartografiere) creată anterior.

Aceste simulări și teste au avut ca scop final planificarea traiectoriilor și controlul mișcărilor de urmărire, prin optimizarea parametrilor de deplasare (viteză, accelerație, timp).

Testele experimentale de *urmărire a traiectoriei programate*, în mediul real, au fost efectuate pentru un traseu simplu (în linie dreaptă), într-o primă etapă, utilizând localizarea odometrică. În a doua etapă, au fost utilizate și datele furnizate de senzorii externi, cu scopul de a evidenția precizia de localizare, în urmărirea unui traseu real complex.

Determinările experimentale efectuate au demonstrat că urmărirea traiectoriei programate, doar pe baza odometriei, nu oferă suficientă precizie din cauza erorilor de deplasare semnificative, astfel încât a fost necesară și utilizarea senzorilor externi de tip sonar.

Testele experimentale efectuate s-au focusat pe navigarea RIM/RTM de-a lungul unor traiectorii generate anterior în mediul virtual (harta), cu ajutorul mouse-ului sau tastaturii, cu considerarea obstacolelor statice (pereți, piese de mobilier etc.). Testele de navigare în mediul de lucru real au avut ca scop urmărirea preciziei de navigare urmărind traiectoriile impuse.

Deplasarea RIM/RTM în mediul real, urmărind traiectoria planificată anterior, în cazurile situațiilor imprevizibile generate de obstacole dinamice (utilizatori sau cealaltă

platformă mobilă) s-a realizat prin întreruperea urmării traiectoriei programate și trecerea la navigarea asistată de senzorii externi, conform unui algoritm generat online.

Problema majoră care a apărut în timpul experimentelor a fost determinată de erorile de poziționare și orientare strâns legate de vitezele de deplasare ale platformelor mobile. După repetarea testelor s-au făcut ajustări ale vitezelor, s-au adoptat viteze adecvate care au condus la erori reduse.

Faptul că roboții RIM/RTM folosesc pentru navigare foarte mult o hartă simplificată, determinată a priori și nu utilizează imagini preînregistrate, pentru a ajuta la localizare, conduce la timpi de calcul mai reduși și astfel se lasă controlerele centrale ale roboților să se ocupe de celelalte sarcini cum ar fi planificarea traseului la ocolirea obstacolelor dinamice, evitarea obstacolelor statice și interacțiunea cu utilizatorii.

Testele experimentale efectuate pentru *detectarea și recunoașterea feței* și de *recunoaștere și urmărire a cărții la raft* au fost realizate în scopul permiterii accesului utilizatorului la resursele bibliotecii, și respectiv, în vederea manipulării sau inventarierii cărților.

Funcția de recunoaștere facială ajută RIM să identifice persoana care dorește să interacționeze prin intermediul ecranului tactil cu sistemul SROSIB. Înainte de procesul propriu-zis de recunoaștere a fost creată o bază de imagini captate la realizarea permiselor de bibliotecă sau a legitimațiilor de serviciu pentru noii utilizatori. Pentru o precizie cât mai mare imaginile capturate prezintă subiecții din față, la luminozitate și contrast potrivite, cu ochii deschiși.

Cercetările inițiale privind *detectia și recunoașterea feței* s-au bazat pe următoarele ipoteze: luarea în considerare a unei singure fețe; ignorarea feței utilizatorului aflat în mișcare; prezentarea acestuia, în fața camerei video, în poziție verticală astfel încât fața să fie vizibilă în proporție de cel puțin 50%.

Testele de performanță ale sistemului de detecție și recunoaștere facială au fost efectuate în timp real cu intrări de la camera video. Unele cadre prezentau erori ale funcțiilor de detecție a fețelor, în special în medii cu luminozitate variabilă (de ex., schimbarea iluminării la aprinderea lămpilor) nereușindu-se recunoașterea utilizatorului, dar astfel de situații au fost destul de rare.

Experimental s-a confirmat că pentru variații mici de luminozitate sau de orientare a feței, algoritmul de recunoaștere oferă o precizie suficientă, iar utilizatorii pot fi reperați de la o distanță convenabilă (aprox. 2 m.).

Configurarea corectă a parametrilor de control, respectiv, a factorului de scalare (1,5), numărului de detectări (2), dimensiunii feței căutate (50x50 pixeli), selecția probabilistică a feței a contribuit, de asemenea, la creșterea performanțelor de detecție și recunoaștere a feței.

*În concluzie* a fost conceput, proiectat, implementat și testat cu succes un sistem experimental pentru *detectia și urmărirea feței*, utilizând biblioteca open source, cu funcții de vedere artificială, OpenCV, care lucrează în timp real și face față, fără probleme, la achiziția video continuă cu o cameră video simplă, la o rezoluție de 320x240 pixeli, cu 30 cadre pe secundă.

Prezenta cercetare ilustrează posibilități extinse de utilizare a sistemelor vision la roboții de servicii, mai ales, pentru cei din biblioteci.

În cazul implementării *aplicației de detecție și recunoaștere a cărților* ipotezele cercetării au fost următoarele: s-a luat în considerare o singură carte existentă în cadru; cărțile aflate în mișcare au fost ignorate; fundalul a fost diferit de culoarea copertei cărții; cartea a fost vizibilă cel puțin 50% în imaginea captată de camera video; poziția cărții în raft a fost verticală; pe cotorul cărții existau titlul și autorii.

Utilizarea algoritmului SURF pentru *detectia, recunoașterea și urmărirea cărților* în bibliotecă s-a dovedit o alegere bună, ca urmare a faptului că acesta: este mai puțin invariant la schimbările de iluminare și ale punctului de observație; poate fi adaptat la calcul paralel, deoarece fiecare matrice Hessiană poate fi estimată în mod paralel și are o acuratețe bună.

Testele experimentale efectuate au avut drept scop evaluarea nivelului de recunoaștere a cărții, exprimată în procente, în cazul în care condițiile de luminozitate se schimbă brusc. Astfel, s-au efectuat 60 de experimente cu diferite cărți aflate în raft, luând în considerare contrastul dintre imaginea cărților din raft și imaginea de fundal.

Rezultatele obținute au arătat că în cazul unui contrast mare, procentul de recunoaștere este de aprox. 96%. În cazul contrastului mediu, schimbarea luminozității reduce procentul de recunoaștere la 48%. Pentru contrast mic, indiferent de condițiile de luminozitate, nivelul de recunoaștere a cărții se diminuează la 1%.

Pentru studiul prehensării cărților, s-au efectuat teste experimentale de prindere și eliberare a acestora, în scopul *determinării coeficienților de frecare între copertile cărții și bacurile prehensorului*. O valoare adecvată a acestor coeficienți permite manipularea și transportul în siguranță.

Procesul de testare a prehensării cărții s-a desfășurat în două etape: în prima realizându-se prinderea (fixarea) acesteia între bacuri, cu o forță de apăsare măsurată tensometric de senzorul de forță, tija senzorului de deplasare fiind pusă în contact cu cotorul cărții. În a doua etapă forța de încărcare/apăsarea fost redusă gradual, măsurându-se continuu valoarea acesteia și valoarea indicată de senzorul de deplasare, urmărind momentul desprinderii cărții de bacuri.

Testele experimentale au fost realizate cu dispozitive de prindere având două tipuri de bacuri: din aluminiu și cu benzi de cauciuc.

În urma analizei și interpretării rezultatelor experimentale de prehensiune s-a constatat că, în cazul prinderii cărții cu bacuri de aluminiu, forța de prehensiune este mai mare decât în cazul prinderii acesteia cu bacuri pe care au fost aplicate benzi din cauciuc, care realizează coeficienți de frecare mai mari. Forța de frecare este dependentă, într-o mare măsură, de materialul din care sunt făcute copertile cărții (mate și lucioase).

Recunoașterea documentului/cărții și poziționarea prehensorului în fața acestuia, prinderea, ridicarea și extragerea de pe raft; transportul spre zona utilizatorului sau în locul de depunere/depozitare; eliberarea; revenirea manipulatorului la poziția inițială au reprezentat etapele parcurse pentru efectuarea *experimentelor referitoare la manipulare și transport*.

Corectitudinea algoritmilor propuși, pentru localizarea cărții la raft și pentru deplasarea RMI/RTM în mediul de informare/documentare, a fost verificată experimental (prin testare) prin mișcarea pe un traseu prestabilit, către obiectul țintă (carte); preluarea/manipularea obiectului țintă; transportul pe o traiectorie prestabilită; eliberarea obiectului în poziție impusă; revenirea la poziția anterioară.

Deoarece în timpul experimentelor au fost consemnate mici neajunsuri, care au putut fi remediate, în momentul implementării, algoritmi au produs rezultatul corect și nu s-au produs ciocniri cu obstacolele existente pe traseul din mediul real, traiectoriile reale obținute fiind aproape identice cu cele planificate. Astfel s-a demonstrat eficiența și stabilitatea algoritmilor utilizați și rezultatele teoretice au fost confirmate.

Capitolul se încheie cu o prezentare a *interfeței grafice cu utilizatorul*, concepută, dezvoltată și implementată pe RIM care oferă acestuia posibilitatea unei informări corespunzătoare, accesul la documentele bibliotecii precum și interacțiunea cu celelalte interfețe ale sistemului SROSIB.

Nivelul calitativ al interfeței grafice vine în întâmpinarea cerințelor utilizatorilor prin includerea unui design adecvat al paginii Web. Proiectarea acestui tip de interfață a necesitat preluarea și adaptarea unor tehnologii specifice, care să permită utilizatorului o interacțiune simplă și eficientă, evitându-se scenariile insuficient de explicite care l-ar putea deruta.

Acest lucru a fost realizat într-o primă fază, printr-un studiu la nivelul unui grup de persoane având anumite caracteristici și niveluri de cunoștințe. Pentru optimizarea structurii interfeței grafice, au fost necesare simulări pentru diverse scenarii de utilizare, realizate de diferite categorii de utilizatori, atât experimentați, cât și neexperimentați.

# 7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE, VALORIFICAREA REZULTATELOR ȘI DIRECȚII NOI DE CERCETARE

## 7.1 CONCLUZII FINALE

Roboții de servicii deschid noi perspective de aplicații și în domenii non-industriale. Este însă necesar ca atât cerințele cât și obiectivele urmărite să fie atent reexaminat în ceea ce privește proiectarea și implementarea prin examinarea aspectelor și dificultății cu privire la problematica specifică domeniului abordat. Aspectele cheie care rezultă ca urmare a creării unor roboți mobili pentru servicii, care să fie acceptați și exploatați în mod eficient de către utilizatorii fără pregătire tehnică, pot fi privite ca probleme tehnice specifice pentru sisteme low-cost, orientate spre utilizator, dar mai ales din perspectiva interacțiunii om-mașină.

*Obiectivul specific de analizare critică a cercetărilor teoretice, aplicative și experimentale privind roboții mobili de servicii* a fost realizat prin studiul celor mai recente surse bibliografice din domeniu. În funcție de caracteristicile mediului de navigare, pentru a evidenția flexibilitatea și varietatea roboților mobili de servicii a fost realizată o clasificare a acestora, punându-se accent pe cei care evoluează în mediul de bibliotecă. De asemenea, a fost realizată o analiză documentară privind istoricul, evoluția și tendințele actuale de implementarea a sistemelor RFID în biblioteci, ca parte principală a potențialelor sisteme robotizate.

Utilizarea tehnologiei RFID, *concepția, modelarea, proiectarea și dezvoltarea unui subsistem RFID*, ca parte componentă a SROSIB aduce beneficii în bibliotecă, cele mai importante fiind: reducerea la minimum a duratei operațiilor de manipulare a documentelor și a timpului de așteptare a utilizatorului; posibilitatea de urmărire și verificare permanentă a circulației documentelor; localizarea rapidă la raft a cărților; reducerea personalului implicat în manipularea documentelor.

Sistemele automate și robotizate reduc semnificativ timpul consumat cu primirea documentelor (cărți, reviste etc.) la ghișeu, ștergerea evidențelor utilizatorilor, astfel încât personalul de la ghișeul de recepție poate fi reorientat spre alte activități specifice bibliotecii.

În alegerea roboților de servicii în biblioteci se va ține cont de sarcinile pe care aceștia trebuie să le îndeplinească: detectarea utilizatorilor și urmărirea acestuia, navigarea către o anumită locație, detectarea unui obiect/document (carte, revistă, CD etc.), prinderea, manipularea și transportul acestuia.

În plus, acesta trebuie să asigure siguranță în interacțiunea cu obstacolele fixe (rafturi, birouri, pereți etc.), dar și în interacțiunea cu utilizatorii umani. De asemenea se au în vedere funcționarea corectă și robustă a roboților (toleranță la schimbările neașteptate de mediu, nivel scăzut de erori), capacitățile de mișcare și de detectare, pentru punerea în aplicare a sarcinilor impuse. Roboții de servicii în bibliotecă trebuie să fie în măsură să răspundă în mod continuu la evenimentele date de interacțiunea cu utilizatorul și schimbările mediului înconjurător.

Generarea unei hărți locale (cartografierea, maparea), planificarea traiectoriei de navigare (programarea robotului), localizarea bazată pe senzori de percepție și urmărirea traiectoriei (controlul mișcării) sunt etape parcurse pentru rezolvarea problemei navigării roboților mobili în mediile în care operează, inclusiv în cele de bibliotecă.

Identificarea și recunoașterea locației cărții; poziționarea sistemului de manipulare în fața raftului și stabilirea poziției optime de prehensiune a cărții; preluarea de pe raft, stabilirea parametrilor de lucru: deschiderea prehensorului, distanța până la carte, forțele necesare pentru prehensiunea cărții; deplasarea spre o unitate de transfer (legătură între zona de depozitare și zona utilizatorului); eliberarea cărții și resetarea poziției (schimbarea scenariului de prehensiune pentru o altă carte) sunt etape importante parcurse în manipularea robotizată a unei cărți.

*Modelarea cinematică și planificarea traiectoriilor de navigare a platformelor mobile cu roți și modelarea cinematică a manipuletoarelor montate pe acestea* au stat la baza programării sistemului robotizat propus, în vederea satisfacerii sarcinilor impuse de manipulare și transport a documentelor/cărților.

Având în vedere că în cazul prinderii prin forță, cartea este supusă posibilității de degradare a copertei, pentru prehensiunea acesteia se va utiliza prinderea de precizie, care implică forțe de strângere mult reduse, evitându-se astfel deteriorarea copertei.

În acest sens au fost concepute *modele de prehensiune a cărților de precizie* cu contacte conforme (circulare sau dreptunghiulare) care acoperă majoritatea situațiilor practice de prehensiune și manipulare robotizată a acestora: *modelarea contactului bac/deget-obiect, modelarea statică de prindere cu două și cu trei bacuri/deget.*

Pentru *conceperea, dezvoltarea și implementarea unui sistem robotizat* pentru servicii în biblioteci publice (SROSIB) s-au realizat cercetări amănunțite privind dezvoltarea hardware și software a unor roboți mobili de servicii, vizând dezvoltarea a două sisteme robotice pe platforme mobile cu roți existente (*Pioneer 3-AT* și *PowerBot*) în dotarea Laboratorului de Robotică și Realitate Virtuală, prin adăugarea unor componente suplimentare (manipulatoare *Pioneer 2Arm* (5 DOF) și *PowerCube* (6 DOF), camere video, cititoare RFID etc.). Aceștia au fost concepuți pentru a îndeplini sarcini de informare, deplasare, manipulare (RIM) și respectiv, de manipulare și transport (RTM) și au fost integrați în sistemul robotizat pentru servicii propus.

Datorită faptului că SROSIB necesită noi căi de comunicare s-au dezvoltat și prezentat diferite mijloace și dispozitive alternative de interacțiune a sistemelor robotizate (RIM, RTM) cu mediu de informare/documentare și a utilizatorilor.

Pentru dezvoltarea SROSIB au fost concepute, dezvoltate și implementate *aplicații de detecție și recunoaștere a feței utilizatorului*, pentru a permite accesul acestuia la resursele bibliotecii și aplicații de *detecție, recunoaștere și urmărire a cărții la raft*, în vederea manipulării și transportului acesteia sau a inventarierii.

În vederea validării rezultatele cercetărilor teoretice pentru dezvoltarea sistemului conceput au fost efectuate *simulări în mediul virtual* și teste experimentale în următoarele direcții: localizarea și navigarea RIM și RTM, în vederea deplasării autonome în mediul de lucru; evaluarea performanțelor RIM/RTM de execuție a operațiilor de manipulare, compuse din secvențe elementare ce vor putea fi învățate și salvate în baze de secvențe (cunoștințe) ale fiecărui robot; teste experimentale ale aplicațiilor dezvoltate pentru detecția fețelor și a cărților și pentru validarea interfeței grafice cu utilizatorul.

*Simulările și testele experimentale de navigare a RIM/RTM* au avut ca scop final planificarea traiectoriilor și controlul mișcărilor de urmărire, prin optimizarea parametrilor de deplasare (viteză, accelerație, timp).

Rezultatele obținute, în mediul real, au fost în strânsă concordanță cu cele obținute în urma experimentelor din mediul virtual. În urma prelucrării datelor experimentale s-au evidențiat efecte pozitive ale proceselor de monitorizare, cu implicații concrete privind precizia de urmărire a traiectoriilor, funcționarea corectă și robustă a roboților (toleranță la schimbările neașteptate de mediu, nivel scăzut de erori), capacitățile de mișcare și de detectare, pentru punerea în aplicare a setului sarcini (programe) impuse. În urma simulărilor, testelor și experimentelor efectuate, prin aplicarea metodelor de planificare a traiectoriilor de navigare/manipulare în mediul de bibliotecă se constată că rezultatele obținute sunt valide și pot fi utilizate în practică.

În vederea *stabilirii coeficientului de frecare între diferite tipuri de bacuri și coperte de cărți*, s-au efectuat teste experimentale a forței de prehensare a cărții cu evidențierea prinderii și desprinderii (alunecării) acesteia atât pentru diverse suprafețe de contact ale bacurilor (aluminu, cauciuc), cât și ale coperțelor cărților (mată, lucioasă).

*Ca o concluzie generală a cercetărilor cuprinse în prezenta teză de doctorat, în urma aplicațiilor dezvoltate, simulărilor și testelor experimentelor efectuate, privind dezvoltarea și*



integrarea unor roboți mobili cu manipulator într-un sistem robotizat de servicii în bibliotecă se evidențiază faptul că, acesta este un sistem multifuncțional care trebuie să ia decizii și deci să aibă un nivel de inteligență ridicat.

În cadrul SROSIB roboții RIM și RTM pot comunica cu utilizatorul (prin intermediul interfețelor grafice) și prin intermediul altor subsisteme (RFID, LMS – *Library Management System*), inclusiv între ei, procesează și interpretează datele de la senzori, sintetizează harta mediului, monitorizează starea acestuia, permit planificarea de activități cu obiectiv precis; caută și găsesc o anumită carte, iar apoi o aduc utilizatorului; sunt capabili să localizeze și să furnizeze o carte în timp rezonabil, fără intervenție umană; potrepera cărți pe raft și le pot transporta la un punct de recepție/scanare etc.). În acest fel se poate afirma că *obiectivul principal al tezei de doctorat* de concepție, dezvoltare, implementare și testare a unui sistem robotizat de servicii specifice din bibliotecă a fost îndeplinit.

## 7.2 CONTRIBUȚII ORIGINALE

Prezenta teză de doctorat are un caracter teoretico-aplicativo-experimental inovativ și aduce numeroase contribuții originale în ceea ce privește, pe de-o parte, conceperea, modelarea, dezvoltarea, implementarea și testarea unor sisteme robotice de servicii pentru bibliotecă și, pe de altă parte, informatizarea proceselor și activităților din bibliotecile publice.

Pentru a îndeplini obiectivele tezei, general și specifice, s-au realizat următoarele contribuții proprii:

1. Analiza bibliografică exhaustivă a cercetărilor teoretice, aplicative și experimentale privind informatizarea, automatizarea și robotizarea activităților din bibliotecă și arhive, cu precădere pentru prehensarea, manipularea și transportul documentelor (cărți, CD-uri etc.)
2. Conceperea și proiectarea unui model de implementare a subsistemului RFID la Biblioteca Universității *Transilvania* din Brașov.
3. Conceperea și elaborarea modelelor matematice pentru prehensiunea obiectelor prismatice de tip carte: modelarea contactelor bac/deget-obiect; modelarea prehensiunii de precizie, cu două bacuri/degete și a prehensiunii cu trei degete.
4. Conceperea, proiectarea, dezvoltarea și integrarea unor roboți mobili pentru servicii, realizați pe platforme mobile cu software și hardware existent (Pioneer 3-AT pentru RIM și PowetBot pentru RTM), într-un sistem robotizat de servicii, specifice activităților de manipulare și transport carte (SROSIB), în bibliotecă;
5. Crearea unui mediu de lucru virtual pentru simularea navigării autonome a RMI și RTM, testarea eficienței metodelor de planificare a traiectoriilor, concepția și realizarea de experimente, în mediul real, în vederea validării rezultatelor obținute prin simularea deplasărilor RIM în mediul virtual.
6. Conceperea, modelarea, dezvoltarea și implementarea unui subsistem de detecție și recunoaștere a feței, bazat pe clasificatori Haar, în mediul Microsoft Visual Studio 2008.
7. Conceperea, modelarea, dezvoltarea și implementarea, unui subsistem dedetecție, recunoaștere și urmărire a cărții, în timp real, bazat pe algoritmul SURF, în mediul Microsoft Visual Studio 2008.
8. Conceperea, proiectarea și implementarea unei interfețe grafice cu utilizatorul pentru interacțiunea acestuia cu RIM și elaborarea algoritmului și programului de comandă și control al RTM, prin corelarea controlului platformei PowerBot și a manipulatorului PowerCube pentru urmărirea traseelor planificate pentru transportul și manipularea cărții.
9. Stabilirea programelor și metodologiilor de experimentare pentru: validarea traiectoriilor de navigare și manipulare a documentelor/cărților; aplicațiilor, bazate pe computer vision și interfețelor grafice cu utilizatorul, dezvoltate și implementate și evaluarea sistemului SROSIB.
10. Studiile experimentale de prehensiune a cărții, în vederea stabilirii coeficientului de frecare dintre diferite tipuri bacuri și cărți cu diverse coperti.

### 7.3 VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

În perioada de realizare a cercetărilor din cadrul tezei de doctorat s-au elaborat și publicat 21 lucrări științifice, dintre care 15 prim autor, publicate în jurnale și buletine ale conferințelor de specialitate:

#### 7.3.1 LUCRĂRI PUBLICATE

*Lucrări publicate în domeniul tezei de doctorat:*

1. **Pop, C.M.**, Mailat, G., Radio frequency technology in libraries, *Recent*, vol. 10, no. 3(27), pag. 391-396, November, 2009 (indexată BDI Index Copernicus, ULRICH'S Periodicals Directory).
2. **Pop, C.M.**, Mailat, G., RFID implementation and benefits in library, *Proceedings of the 8th International Conference Challenges in Higher Education & Research in the 21st Century*, Technical University of Sofia, Sozopol, Bulgaria, June 2-4, 2010, Heron Press, Sofia, pag. 383-388, 2010.
3. **Pop, C.M.**, Mailat, G., RFID: A new technology in library management systems, *BIBLIO 2010. International Conference on Library and Information Science*, Brașov, June 03-05, 2010, Editura Universității Transilvania din Brașov, pag. 123-130, 2010 (indexată BDI ProQuest).
4. **Pop, C.M.**, RFID: Soluție inovatoare pentru biblioteci, *Revista Școlii Doctorale. Creativitate și invenție*, vol. 2, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2010 (indexată BDI DOAJ).
5. **Pop, C.M.**, Mailat, G., Radio Frequency Identification: Technology. Applications and Impact, *Proceedings of the Sixth International Conference „Mechanics and Machine Elements”*, Technical University of Sofia, Bulgaria, November 4-6, 2010, Technical University Press, pag. 314-322, 2010.
6. **Pop, C.M.**, Mailat, G., Automated Material Handling Systems (AMHS) in libraries and archives. Automated Storage/Retrieval and Return/Sorting Systems, *Recent researches in neural networks, fuzzy systems, evolutionary computing and automation*, Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on Automation & Information (ICAI 2011), Transilvania University of Brașov, Romania, April 11-13, 2011 pag. 189-194, 2011.
7. **Pop, C.M.**, Mailat, G., Helerea, E., RFID System and Automation in University Libraries, *BIBLIO 2011. International Conference on Library and Information Science*, Brașov, June 02-04, pag. 267-272, 2011 (indexată BDI ProQuest).
8. **Pop, C.M.**, Mailat, G., Robotic materials handling equipment for libraries, *Challenges in Higher Education & Research in the 21st Century, Proceedings of the 9th International Conference Challenges in Higher Education & Research in the 21st Century*, vol. 9, Technical University of Sofia, Sozopol, Bulgaria, June 5-8, 2011, Heron Press, Sofia, pag. 302-305, 2011.
9. **Pop, C.M.**, Talabă D., Service Robotics: Applications and Future Prospects, *BIBLIO 2012. International Conference on Library and Information Science*, Brașov, June 06 - 08, pag. 219 - 228, 2012 (indexată BDI ProQuest).
10. **Pop C.M.**, Mogan G.L., Robotic Grippers for Handling Books in Libraries, *Scientific Research & Education in the Air Force – AFASES*, vol. 2, pag. 461-466, 2015 (indexată BDI EbscoDatabases).
11. **Pop C.M.**, Mogan G.L., Neagu M., Localization and Path Planning for an Autonomous Mobile Robot Equipped with Sonar Sensor, *Applied Mechanics and Materials*, vol. 772, pag. 494-499, 2015, DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.772.494>

(indexată BDI EbscoDatabases, ProQuest, Scientific.net, WorldCat).

12. **Pop, C.**, Mogan, Gh., Face Detection System using Haar-Cascade Classifier in OpenCV, *4th World Conference on Psychology and Sociology (WCPS-2015)*, 26-28 November 2015, Roma, Italy, 2015.
13. **Pop C.M.**, Mogan G.L., Modern and Sleek Web Technologies for Promoting Library Services and Resources, *Applied Mechanics and Materials*, vol. 859, pag. 110-115, 2016, DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.859.110> (indexată BDI EbscoDatabases, ProQuest, Scientific.net, WorldCat).
14. **Pop C.M.**, Mogan G.L., Boboc, R.G., Real-Time Object Detection and Recognition System using OpenCV via SURF algorithm in Emgu CV for Robotic Handling in Libraries, *International Journal of Modeling and Optimization*, vol. 7(5), pag. 265-269, 2017, DOI: <https://doi.org/10.7763/IJMO.2017.V7.595>. (indexată BDI Index Copernicus).

*Lucrări publicate în domenii conexe:*

1. Mailat, G., **Pop, C.M.**, Soluții inteligente de arhivare electronică și document management, *Conferința internațională de Biblioteconomie și Știința Informării, BIBLIO – BRAȘOV 2007*, pag. 173-180, 2007.
2. **Pop, C.M.**, Mailat, G., Databases – instruments of documentation and information in scientific research, *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries International Conference (QQML 2009)*, Chania Crete Greece, May 26 - 29, 2009.
3. Mailat, G., **Pop, C.M.**, Conservation and digitization of collections in libraries, *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries International Conference (QQML 2009)*, Chania Crete Greece, May 26 - 29, 2009.
4. Aldea, A., **Pop, C.M.**, Mailat, G., The Librarian in the Information Society, *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries International Conference (QQML 2009)*, Chania Crete Greece, May 26 - 29, 2009.
5. **Pop, C.M.**, Arhip, L., Relational Databases to Enhance the Quality of publication, *BIBLIO 2010. International Conference on Library and Information Science*, Brașov, June 03-05, 2010, Editura Universității Transilvania din Brașov, pag. 233-238, 2010 (indexată BDI ProQuest).
6. Helerea, E., Mailat, G., **Pop, C.M.** et al., Tehnologia informației în cercetarea științifică, Brașov, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2011.
7. Helerea, E., Mailat, G., Popescu, M., **Pop, C.M.** et al., Portails Documentaires et la Communication Autour des Archives Ouvertes – Support de cours, Brașov, Roumanie, 2013.

### 7.3.2 PARTICIPĂRI LA CONFERINȚE

În perioada elaborării tezei de doctorat am prezentat lucrări științifice în cadrul următoarelor conferințe:

1. The 17<sup>th</sup> International Conference AFASES 2015, Brașov, Romania 28-30 May, 2015.
2. International Conference on Advanced Research in Aerospace, Robotics, Manufacturing Systems, Mechanical Engineering, Bioengineering, Power and Energy Engineering, Materials Engineering and Human Motricities (OPTIROB, ICAEM, ICREB 2015), Jupiter, Constanța, Romania, June 26–29, 2015.
3. 4th World Conference on Psychology and Sociology (WCPS-2015), Rome, Italy, 26–28 November 2015.
4. International Conference on Aerospace, Robotics, Manufacturing Systems, Mechanical Engineering, Biomechanics and Neurorehabilitation (ICMERA 2016), Bucharest, Romania November 4-6, 2016.
5. International Conference on Smart Systems in the fields of Aerospace, Robotics, Mechanical Engineering, Manufacturing Systems, Power Energy, Biomechanics and

Neurorehabilitation (ICMERA 2017), Bucharest, Romania, November 2-5, 2017.

### 7.3.3 PARTICIPĂRI LA CONTRACTE DE CERCETARE - DEZVOLTARE

În perioada elaborării tezei de doctorat am fost membră în echipele următoarelor proiecte:

1. REMEMBER: Keep alive the past memory for the future (Păstrarea vie a amintirilor trecutului pentru generațiile viitoare), Europe for Citizens 2007-2013 - Action 4, REM 2009-034
2. OPENNESS: Past memory for a future open society (Memorie vie pentru o societate deschisă), Europe for Citizens 2007-2013 - Action 4, No. 520719-EFC-1-2011-1-RO-EFC-REM
3. LLP-LDV/TOI/08/IT/485/2010, AU DELA DE LA SALLE– în cadrul Programului Internațional *Leonardo da Vinci*, proiect finanțat din Fondurile Europene Lifelong Learning Programme, 2009-2010.
4. 510986-TEMPUS-1-2010-1-BE-TEMPUS-JPGR – Proiect Tempus IV IStEMag: Optimisation de l'accès à l'information scientifique et technique dans les universités du Maghreb (Optimizarea accesul la informațiile științifice și tehnice în universități din Maghreb), 2011-2013.
5. PN-II-PT-PCCA-2013-4-2023, NAVIEYES – Asistent inteligent de navigare auto pentru dispozitive mobile bazat pe urmărirea privirii, 2014-2017.

## 7.4 DIRECȚII NOI DE CERCETARE

Ca urmare a cercetărilor efectuate, analizei rezultatelor obținute și diseminării acestora, s-au evidențiat clar limitele teoretico-aplicativo-experimentale ale problematicilor de integrare a roboților mobili în serviciile de manipulare și transport a documentelor de informare și/sau a cărților în biblioteci. Astfel studiile elaborate în cadrul acestei teze de doctorat pot fi continuate cu studii în următoarele direcții:

- Integrarea logicii fuzzy (*Fuzzy Logic Control – FLC*) și a rețelelor neuronale pentru navigația roboților mobili autonomi de servicii, prin utilizarea unei abordări bazate pe algoritmi genetici pentru învățarea supervizată; pe baza unui set de reguli lingvistice, informațiile ambigue și imprecise, primite de la senzori, pot fi ușor manevrate prin logica fuzzy. Performanțe îmbunătățite în planificarea traiectoriei unui robot mobil se pot obține prin utilizarea algoritmului CNN (*Concurrent Neural Networks*); astfel se poate obține o creștere a vitezei de deplasare, în mediul de informare/documentare cu obstacole, pe o traiectorie optimă din punct de vedere al lungimii și a numărului de manevre, între poziția de start și poziția țintei.
- Planificarea traseelor și traiectoriilor, utilizând tehnici de implementare a algoritmilor paraleli și tehnici de programare CUDA (*Compute Unified Device Architecture*). Avantajul principal al algoritmizării și programării bazate pe GPU (*Graphics Processing Unit*) este reprezentat de faptul că informațiile nu se mai procesează succesiv, ci se pot procesa în paralel, timpul fiind mult redus; utilizând această tehnică, este posibilă realizarea planificării traiectoriilor on-line, ceea ce permite accesibilitatea roboților mobili de servicii de la distanță, venind și astfel, în sprijinul utilizatorului, dar și bibliotecarului în procesele de manipulare și transport.
- Crearea, dezvoltarea și implementarea roboților mobili, orientați pe servicii de ghidare și asistență în mediul de informare/documentare: găsirea și asistarea unei persoane aflate în dificultate, reacția la apelul unei persoane care cere îndrumare și/sau asistență; recunoașterea acțiunilor interzise și raportarea acestora.

# BIBLIOGRAFIE

1. [Abdelmalek, 2005] Abdelmalek, K., Yang, J., "Sweeping of an object held by a robotic end-effector", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 21, pag. 159-173, 2005.
2. [Anderson, 2009] Anderson, T., Druin, A., Fleischmann, K., Meyers. E., Nathan, L., Unsworth, K., "Children, technology and social values: Enabling children's voices in a pltiralistic world", *Proceedings of American Society Information Science and Technology*, vol. 46(1), pag. 1-9, 2009.
3. [Asoh, 2001] Asoh, H., Vlassis, N., Motomura, Y., Asano, F., Hara, I., Hayamizu, S., Ito, K., Kurita, T., Matsui, T., Bunschoten, R., and Krose, B., "Jijo-2: An Office Robot that Communicates and Learns", *IEEE Intelligent Systems*, vol. 16(5), pag. 46-55, 2001.
4. [Banciu, 1997] Banciu, D., "Sisteme automatizate de informare și documentare", București, Editura Tehnică, pag. 48-49, 1997.
5. [Barkat, 2009] Barkat, B., Zeghloul, S., Gazeau, J.P., "Optimization of grasping forces in handling of brittle objects", *Robotics and Autonomous Systems archive*, vol. 57(4), pag. 460-468, 2009.
6. [Bălan, 2004] Bălan, C., "RFID: O Soluție Logistică Inovatoare", ASE-București, 2004.
7. [Behan, 2008] Behan, J., "The Development of an Autonomous Library Assistant Service Robot", *Advances in service robotics*, Edited by Ho Seok Ahn, InTech, Croatia, pag. 27-52, 2008.
8. [Bellotto, 2010] Bellotto, N., Hu, H. "A Bank of Unscented Kalman Filters for Multimodal Human Perception with Mobile Service Robots", *International Journal of Social Robotics*, vol. 2(2), pag. 121-136, 2010.
9. [Bennewitz, 2005] Bennewitz, M., Burgard, W., Cielniak, G., Thrun, S., "Learning motion patterns of people for compliant robot motion", *Int J Robot Res*, vol. 24(1), pag. 31-48, 2005.
10. [Bhosale Swapnali, 2014] Bhosale Swapnali, B., Kayastha Vijay, S., Harpale Varsha, K., "Feature extraction using surf algorithm for object recognition", *International Journal of Technical Research and Applications*, vol. 2(4), pag.197-199, 2014.
11. [Bîtea, 2012] Bîtea M.A., "Analiza și sinteza teoretică și experimentală a unui sistem mecatronic autonom mobil", Teză de doctorat. Universitatea "Politehnică" Timișoara, Editura Politehnica, 2012.
12. [Boss, 1990] Boss, R. W., "Library manager's guide to automation", Boston: Massachusetts, GK Hall, pag. 105-128, 1990.
13. [Bradski, 2008] Bradski, G., Kaehler, A., "Learning OpenCV: Computer Vision with OpenCV Library", Sebastopol, Canada: O'Reilly Media Inc., 2008.
14. [Bräunl, 2008] Bräunl, T., "Embedded robotics: mobile robot design and applications with embedded systems", Springer Science & Business Media, 2008.
15. [Brogårdh, 2007] Brogårdh, T., "Present and future robot control development-An industrial perspective", *Annual Reviews in Control*, vol. 31(1), pag. 69-79, 2007.
16. [Chang, 2010] Chang, C.W., Lee, J.H., Chao, P.Y. Wang, C.Y., Chen G.D. "Exploring the possibilities of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school". *Educational Technology & Society*, vol. 13(2), pag. 13-24, 2010.
17. [Chao, 2007] Chao, C.C., Yang, J.M., Jen, W.Y., "Determining technology trends and forecasts of RFID by a historical review and bibliometric analysis from 1991 to 2005". *Technovation*, vol. 27(5), pag. 268-279, 2007.
18. [Chivu, 2004] Chivu, C., "Noile tehnologii informaționale: provocare și necesitate în managementul dezvoltării colecțiilor", *UniBIB*, nr. 11, 2004.
19. [Chivu, 2009] Chivu, C., "Logistică industrială. Planificarea și robotizarea sistemelor de producție", Brașov, Editura Universității *Transilvania* din Brașov, 2009.

- 
20. [Cielniak, 2003] Cielniak G, Duckett T, "Person identification by mobile robots in indoor environments", *Proceedings of the IEEE int workshop on robotic sensing (ROSE)*, Örebro, Sweden, 2003.
  21. [Ciobanu, 2006] Ciobanu, L., "Tratat de Inginerie Electrică. De la Roboți la Întrprinderea Virtuală", București, Ed. Matrix Rom, 2006.
  22. [Cioplea, 2018] Cioplea, A., "Concepția, proiectarea, dezvoltarea și implementarea unor dispozitive modulare de acționare și măsurare a parametrilor de încărcare a elementelor/subsistemelor mecanice cu mișcări de Translație sau de rotație", Proiect, Universitatea *Transilvania* din Brașov, 2018.
  23. [Collins, 2008] Collins, M., Carr, P.L. (eds.), "Staffing trends and issues in e-ressource management", *Managing the transition from print to electronic journals and resources: a guide for library and information professionals*. New York; London, Routledge, pag. 110-112, 2008.
  24. [Coyle, 2005] Coyle, K., "Management of RFID in libraries", *The Journal of Academic Librarianship*, vol. 31(5), pag. 486-489, 2005.
  25. [Cuesta, 2006] Cuesta, F, Ollero, A., "Intelligent Mobile Robot Navigation", Springer, 2006.
  26. [Cunado, 2003] Cunado, D., Nixon, MS., Carter, JN., "Automatic extraction and description of human gait models for recognition purposes", *Computer Vision and Image Understanding* , vol. 90(1), pag. 1-41, 2003.
  27. [Cutkosky, 1986] Cutkosky, M., Wright, P., "Modeling Manufacturing Grips and Correlations with the Design of Robotic Hands", *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 3, pag. 1533-1539, 1986.
  28. [Das, 2011] Das, P., Harrop, "RFID Forecasts, Players and Opportunities 2011-2021", Cambridge, MA, IDTechEx, 2010.
  29. [Das, 2013] Das, P., Harrop, "RFID Forecasts, Players and Opportunities 2014-2024", Cambridge, MA, IDTechEx, 2013.
  30. [Das, 2015] Das, P., Harrop, "RFID Forecasts, Players and Opportunities 2016-2026", Cambridge, MA, IDTechEx, 2015.
  31. [Dautenhahn, 1995] Dautenhahn, K., "Getting to Know Each Other - Artificial Social Intelligence for Autonomous Robots", *Robotics and Autonomous Systems*, vol.16, pag. 333-356, 1995.
  32. [Deaconescu, 2011] Deaconescu, T., Deaconescu, A., "Pneumatic Muscle Actuated Gripper", *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientist*, Hong Kong, China, 2011.
  33. [Defever, 2004] Defever, J., Francis, B., Geerinck, T., "Mobile Robots with Shared Autonomy", Brussels, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 2004.
  34. [del Pobil, 2005] del Pobil, A. P., Prats, M., Ramos-Garijo, R., Sanz, P. J., Cervera, E., "The UJI librarian robot: an autonomous service application", *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Video Proceedings, 2005.
  35. [Dillmann, 2007] Dillmann, R., Albiez, J., Gaßmann, B., Kerscher, T., Zöllner, M., "Biologically inspired walking machines: design, control and perception". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1850), pag.133-151, 2007.
  36. [Doval, 2008] Doval, E., "Managementul schimbării organizaționale în context internațional", Ediția a II-a revizuită și adăugită, Brașov, Ed. Infomarket, 2008.
  37. [Drăgulescu, 1997] Drăgulescu, D., "*Dinamica roboților*", București, Editura Didactică și Pedagogică, ISBN 973-30-5870-X, 1997.
  38. [Dresang, 2006] Dresang, E.T., "Access: The information-seeking behavior of youth in the digital environment", *Library Trends*, vol. 54(2), pag. 178-196, 2006.
  39. [Druin, 2002] Druin, A., "The role of children in the design of new technology", *Behaviour and Information Technology*, vol. 21(1), pag. 1-25, 2002.

- 
40. [Dudek, 2000] Dudek, G., Jenkin, M., “*Computational Principles of Mobile Robotics*”, Cambridge University Press, 2000.
  41. [Duguleană, 2009] Duguleana, M., “Learning Mobile Robots”, *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, vol. 2(51), pag. 55-60, 2009.
  42. [Duguleană, 2011] Duguleana, M., “Învăţarea roboţilor mobili pentru deplasare şi manipulare în medii industriale”, Teză de doctorat, Universitatea *Transilvania* din Braşov, 2011.
  43. [Dumitru, 2013] Dumitru I., Cismaru, D.-M., “*Comunicare managerială şi relaţiile publice*”, Cluj-Napoca, Universitatea “Babeş-Bolyai”, pag. 26, 2013.
  44. [Enache, 2003] Enache, I., Maftai, M., “*Marketingul în bibliotecă*”, Bucureşti, Editura Universităţii din Bucureşti, 2003.
  45. [Erich, 2013] Erich, A., “Rolul bibliotecii universitare în eficientizarea utilizării resurselor electronice”, *Studii de Biblioteconomie şi Ştiinţa Informării/Library and Information Science Research*, vol. 17, pag. 65-74, 2013.
  46. [Ferrer, 2010] Ferrer, C., Dew, N., Apte, U., “When is RFID right for your service?” *International Journal of Production Economics*, vol. 124, pag. 414–425, 2010.
  47. [Ge, 2006] Ge, S.S., Lewis, F.L., “Autonomous Mobile Robots, Sensing, Control, Decision, Making and Applications,” vol. 22, CRC press, 2006.
  48. [Geleijnse, 1994] Geleijnse, H., “Human and organizational aspects of library automation. Ders.: Developing the library of the future”, Tilburg, pag. 115-135, 1994.
  49. [Ghilic-Micu, 2004] Ghilic-Micu, B., Stoica, M.E., “Organizaţia virtuală”, Bucureşti, Editura Economică, 2004.
  50. [Golding, 2007] Golding, P., Tennant, V., “Performance testing: Evaluating an RFID library inventory reader”, *International Journal of Internet Protocol Technology*, 2007.
  51. [Golnabi, 2003] Golnabi, H., “Role of laser sensor system in automation and flexible manufacturing”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol.19. pag. 201-210, 2003.
  52. [Guha, 2011] Guha, I.L., Druin, A., Fails, J.A., “How children can design the future”, *Human-Computer Interaction. Users and Applications*, Springer Berlin Heidelberg, pag. 559-569, 2011.
  53. [Guo, 2015] Guo, F., Luo, X., Liu, Y., “Research on Feature Extraction and Match Method based on the Surf Algorithm for Mobile Augmented Reality System”, *International Industrial Informatics and Computer Engineering Conference (IIIEEC)*, pag. 615-619, 2015.
  54. [Habib, 2006] Habib, M.K., “Service Robots and Humanitarian Demining”, *Mobile Robots, Towards, New Applications*, Edited by Aleksandar Lazinica, Published by Advanced Robotic Systems International and pro literatur Verlag, InTech Education and Publishing, pag. 449-480, 2006.
  55. [Hahn, 2010] Hahn, J., Twidale, M., Gutierrez, A., Farivar, R., “Methods for applied mobile digital library research: A framework for extensible way-finding systems”. *The Reference Librarian*, 52(1-2), pag. 106-116, 2010.
  56. [Halgaş, 2010] Halgaş, N., “Bibliotecile universitare şi cercetarea ştiinţifică”, *Bibliorev*, [online], nr. 19, 2010.
  57. [Harea, 2008] Harea, G., “Marketingul în biblioteca şcolară”, *Biblioteca*, nr. 5, pag. 148-149, 2008.
  58. [Hassaballah, 2016] Hassaballah, M., Abdelmgeid, A. A., Alshazly, H. A., “Image Features Detection, Description and Matching”. *Image Feature Detectors and Descriptors*, Springer International Publishing, pag. 11-45, 2016.
  59. [Heilala, 1992] Heilala, J., Ropponen, T., Airila, M., “Mechatronic design for industrial grippers”, *Mechatronics Journal*, vol. 2(3), pag. 239-255, 1992.
  60. [Holmberg, 2000] Holmberg, R., “Design and Development of Powered-Castor Holonomic Mobile Robots”, Stanford University, 2000.
  61. [Iglesias, 2013] Iglesias, E. (Ed.), “Robots in academic libraries: Advancements in library automation”, *IGI Global*, pag. 213–214, 2013.

- 
62. [Ivanjko, 2007] Ivanjko, E., Komsic, E., Petrovic, I., "Simple off-line odometry calibration of differential drive mobile robots", *Proceedings of 16th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region*, pag. 164-169, 2007.
63. [Jain, 2004] Jain, A.K., Ross, A., Prabhakar, S., "An introduction to biometric recognition", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14 (1), pag. 4–20, 2004.
64. [Jalbă, 2009] Jalbă, R., "Servicii bazate pe RFID în managementul bibliotecii moderne", *UniBib-Revistă electronică de biblioteconomie și Știința informării*, nr. 25, 2009.
65. [Jesse, 2005] Jesse, N., "Autonomous Mobile Robots – From Science Fiction to Reality", StudFuzz Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, pag. 197–219, 2005.
66. [Jia, 2015] Jia, Y., Xu, B., Shen, J., Pei, M., Dong, Z., Hou, J., Yang, M. "Telepresence interaction by touching live video images", *arXiv preprint arXiv:1512.04334*, 2015.
67. [Kevin, 2012] Kevin, R., "Mobile Robot: High-Impact Emerging Technology-What You Need to Know: Definitions, Adoptions, Impact, Benefits, Maturity, Vendors", Emereo Publishing, 2012.
68. [Kiesler, 2002] Kiesler, S., Goetz, J., "Mental models and cooperation with robotic assistants", *Proceedings on the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'02)*. New York, NY: ACM Press. pag. 578-579, 2002.
69. [Kim, 2006a] Kim, B. K., Tomokuni, N., Ohara, K., Ohba, K., Tanikawa, T., Hirai, S., "Ubiquitous function services based control for robots with ambient intelligence", *IEEE Industrial Electronics, IECON 2006-32<sup>nd</sup> Annual Conference*, pag. 4546-4551, 2006.
70. [Kim, 2008a] Kim, B.K., Ohara, K., Kitagaki, K., Ohba, K., Sugawara, T., "Design of Ubiquitous Space for the Robotic Library System and Its Application", *Proceedings of the 17th IFAC World Congress (IFAC 2008)* Seoul, Korea, vol. 17(1), pag. 8221-8225, 2008.
71. [Kim, 2008b] Kim, B.K., Sugawara, T., Ohara, K., Kitagaki, K., Ohba, K., "Design and control of the librarian robot system in the ubiquitous robot technology space", *RO-MAN 2008 – The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pag. 616-621, 2008.
72. [Kim, 2009] Kim, B.K., Ohara, K., Kitagaki, K., Ohba, K., "Design and Control of Librarian Robot System Based on Information Structured Environment", *Journal of Robotics and Mechatronics*. vol. 21 (4), pag. 507-514, 2009.
73. [Kool, 2000] Kool, P., "Robotica", Brussels, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 2000.
74. [Kucsera, 2007] Kucsera, P., "Industrial Component-based Sample Mobile Robot System", *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 4 (4), pag. 69-81, 2007.
75. [Lee, 2003] Lee, JM, Son, K, Lee, MC. et al., "Localization of a mobile robot using the image of a moving object". *Industrial Electronics, IEEE Transactions*, 50(3), pag. 612–619, 2003.
76. [Lee, 2008] Lee, D. J., Chang, Y., Archibald, J. K., Pitzak, C., "Matching book-spine images for library shelf-reading process automation", *Automation Science and Engineering, 2008. CASE 2008. IEEE International Conference on*, pag. 738-743, 2008.
77. [Lee, 2015] Lee, Y. H., Ahn, H., Cho, H. J., Lee, J. H., "Object Recognition and Tracking based on Object Feature Extracting", *Journal of Internet Services and Information Security*, vol. 5(3), pag. 48-57, 2015.
78. [Lin, 2009] Lin, L.C., "An integrated framework for the development of radio frequency identification technology in the logistics and supply chain management", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57 (3), pag. 832–842, 2009.
79. [Liu, 2005] Liu, J.N.K., Wang, M, Feng, B, "iBotGuard: an internet-based intelligent robot security system using invariant face recognition against intruder", *IEEE Trans Syst Man Cybern, Part C*, vol. 35(1), pag. 97–105, 2005.



- 
80. [Ma, 2011] Ma, R.R., Dollar, A.M., "On Dexterity and Dexterous Manipulation", *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Robotics*, Tallinn, Estonia, pag. 1-7, 2011.
81. [Mazzone, 2008] Mazzone, E., Read, J.C., Beale, R., "Understanding children's contribution during informant design", *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, Interaction-Volume 2*, British Computer Society, pag. 61-64, 2008.
82. [Meere, 2010] Meere, D., Ganchev, I., O'Droma, M., O'hAodha, M., Stojanov, S., "Evolution of modern library services: The progression into the mobile domain", *M-libraries 2: A virtual library in everyone's pocket*, London. England: Facet, pag. 61-72, 2010.
83. [Mehta, 2004] Mehta, V., Goswami, S., Kumar, A., Singh, M., "Radio Detection System for Information Handling", *Bulletin of Information Technology*, vol. 24(4), pag. 19-23, 2004.
84. [Mikawa, 2010] Mikawa, M., Morimoto, Y., Tanaka, K., "Guidance method using laser pointer and gestures for librarian robot", *RO-MAN, 2010 IEEE*, pag. 373-378, 2010.
85. [Miyazaki, 2004] Miyazaki, M., Kim, B.K., Ohba, K., Chong, N.Y., Hirai, S., Mizukawa, M., Tanie, K., "Knowledge Distributed Robot System - Application of Multi-Agent System", *Proceedings 2004 SICE System Integration*, pag. 691-692, 2004.
86. [Mogan, 2003] Mogan, Gh., "Proiectarea structurilor mecanice ale sistemelor mecatronice. Roboți industriali", Editura Universității *Transilvania*, 2003.
87. [Morales, 2007] Morales, A., Prats, M., Sanz, P.J, del Pobil, A.P., "An Experiment in the Use of Manipulation Primitives and Tactile Perception for Reactive Grasping", *Proceedings of the Robotics: Science & Systems - Manipulation Workshop - Sensing and Adapting to the Real World*, Atlanta, Georgia, USA, 2007.
88. [Mucientes, 2001] Mucientes, M., Iglesias, R., Regueiro, C.V. et al., "Fuzzy temporal rules for mobile robot guidance in dynamic environments", *IEEE Trans Syst Man Cybern Part C*, vol. 31, pag. 391-398, 2001.
89. [Murphy, 2000] Murphy, R. R., *Introduction to AI Robotics*, The MIT Press, 2000.
90. [Nakajima, 2003] Nakajima, C., Pontil, M., Heisele, B., Poggio, T., "Full-body person recognition system". *Pattern Recogn*, vol. 36(9), pag. 1997-2006, 2003.
91. [Napier, 1956] Napier, J., "The Prehensile Movements of The Human Hand", *Journal of Bone and Joint Surgery*, vol. 38-B(4), pag. 902-913, 1956.
92. [Nilsson, 1998] Nilsson, N.J. "Artificial Intelligence: To New Synthesis". Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
93. [Ohya, 2002] Ohya, A., "Human robot interaction in mobile robot applications", *Robot and Human Interactive Communication, 2002. Proceedings. 11th IEEE International Workshop on*, pag. 5-10, 2002.
94. [Ollero, 2001] Ollero, A.O., *Robotica: Manipuladores, robots moviles*, Barcelona: Alfaomega/Marcombo, 2001.
95. [Panchal, 2013] Panchal, P.M., Panchal, S.R., Shah, S.K., "A Comparison of SIFT and SURF", *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 1(2), 2013.
96. [Panfir, 2013] Panfir, A.N., "Sistem inteligent de cooperare a roboților mobili pășitori în medii industriale", Teză de doctorat, Universitatea *Transilvania* din Brașov, 2013.
97. [Pastine, 1994] Pastine, M., Kacena, C., "Library automation, networking and other online and new technology costs in academic libraries", *Library trends*, vol. 42(3), pag. 524-536, 1994.
98. [Pescaru, 2008] Pescaru, G., Dragomir, R., Pușcoci, S., "Optimizarea activităților prin folosirea tehnologiilor RFID", *Telecomunicații*, anul LI, nr. 2, 2008.

- 
99. [Pop, 2009a] **Pop, C.**, Mailat, G., “Databases – instruments of documentation and information in scientific research”, *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries International Conference (QQML 2009)*, Chania Crete Greece, May 26 - 29, 2009.
100. [Pop, 2009b] **Pop, C.**, Mailat, G., “Radio frequency technology in libraries”, *Recent*, vol. 10, no. 3(27), pag. 391-396, November, 2009.
101. [Pop, 2010c] **Pop, C.**, “RFID: Soluție inovatoare pentru biblioteci”, *Revista Școlii Doctorale. Creativitate și inventică*, vol. 2, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2010.
102. [Pop, 2011b] **Pop, C.**, Mailat, G., Helerea, E., “RFID System and Automation in University Libraries”, *BIBLIO 2011. International Conference on Library and Information Science*, Brașov, June 02-04, pag. 267-272, 2011.
103. [Pop, 2015c] **Pop, C.**, Mogan, Gh., “Face Detection System using Haar-Cascade Classifier in OpenCV”, *4th World Conference on Psychology and Sociology (WCPS-2015)*, 26-28 November 2015, Roma, Italy, 2015.
104. [Pop, 2017] **Pop, C.**, Mogan, Gh., Boboc, R.G., “Real-Time Object Detection and Recognition System using OpenCV via SURF algorithm in Emgu CV for Robotic Handling in Libraries”, *International Journal of Modeling and Optimization*, vol. 7(5), pag. 265-269, October 2017.
105. [Popescu, 2012] Popescu, P., “Publicitate și marketing-aspecte ale promovării resurselor infodocumentare în BȘC „Andrei Lupan” a AȘM”, *Revista "BiblioScientia": 2012 Nr.7-8*, pag. 68-74, 2012.
106. [Prats, 2004a] Prats, M., Ramos-Garijo, R., Sanz, P.J., del Pobil, A.P., “Autonomous Localization and Extraction of Books in a Library”, *8th Conference on Intelligent Autonomous Systems, Amsterdam, The Netherlands*, pag. 1138-1145, 2004.
107. [Prats, 2004b] Prats, M., Ramos-Garijo, R., Sanz, P. J., Del Pobil, A.P., “Recent progress in the UJI librarian robot”, *Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on*, vol. 6, pag. 5227-5232, 2004.
108. [Prats, 2005a] Prats, M., Sanz, P.J., del Pobil, A.P., “Model-Based Tracking and Hybrid Force/Vision Control for the UJI Librarian Robot”, *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pag. 1090-1095, 2005.
109. [Prats, 2005b] Prats, M., Sanz, P. J., del Pobil, A. P. “Perception-based search and manipulation in a semi-structured environment”, *Advanced Robotics, ICAR'05. Proceedings 12th International Conference on*, pag. 749-754, IEEE, 2005.
110. [Prats, 2007] Prats, M., Sanz, P. J., del Pobil, A. P., Martínez, E., Marín, R. “Towards multipurpose autonomous manipulation with the UJI service robot”, *Robotica Journal*, vol. 25(02), 245-256, 2007.
111. [Prodan, 1998] Prodan, V., Stoian, V., “Ghid metodologic de organizare a activității de informare și documentare în unitățile de cercetare și dezvoltare”, București, 1998.
112. [Qu, 2004] Qu Z, Wang J, Plaisted CE., “A new analytical solution to mobile robot trajectory generation in the presence of moving obstacles”, *IEEE Trans Robotics* vol. 20, pag. 978–993, 2004.
113. [Ramos-Garijo, 2003] Ramos-Garijo, R., Prats, M., Sanz, P.J., del Pobil A.P., “An Autonomous Assistant Robot for Book Manipulation in a Library”, *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics*, vol. 4, pag. 3912-3917, 2003.
114. [Ramos-Garijo, 2004] Ramos-Garijo, R., Prats, M., Sanz, P., del Pobil, A., “Recent progress in the UJI librarian robot. *IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics*, pag. 3912-3917, The Hague, The Netherlands, October 2004.
115. [Richter, 1995] Richter, B. “Ghid de biblioteconomie”, București, Grafoart, 1995.

- 
116. [Roşculeţ, 1982] Roşculeţ, S. V., Gojineţchi, N., Andronic, C., Şelariu, M., Gherghel, N., *Proiectarea dispozitivelor*, Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1982.
117. [Rudzuan, 2012] Rudzuan, M. Nor, Hazry, D., WAN, Khairunizam, Saifizi, M., “Mobile Robot Stable-Target Navigation Control via Encoder Data Feedback”, *Proceeding of the 2nd International Malaysia-Ireland Joint Symposium on Engineering, Science and Business IMIEJS*, pag.641- 646, 2012.
118. [Rybak, 1987] Rybak, V. I., “Dynamic model of the environment of autonomous robot-manipulator”, *Deductive Constructions in the Systems of Artificial Intelligence and Autonomous Robots Simulation* (V.I. Rybak, Ed), Kiev, Inst. of Cybernetics of the Acad. of Sciences of Ukraine, pag. 39-48, 1987.
119. [Rybak, 2009] Rybak, V., “Safety, Uncertainty and Real-Time Problems in Developing Autonomous Robots”, *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation*, Stevens Point, Wisconsin, USA, 2009.
120. [Sahbani, 2012] Sahbani, A., El-Khoury, S., Bidaud, P., “An overview of 3D object grasp synthesis algorithms”. *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 60(3), pag. 326-336, 2012.
121. [Saygin, 2012] Saygin, A.P., Chaminade, T., Ishiguro, H., Driver, J., Frith, C., “The thing that should not be: Predictive coding and the uncanny valley in perceiving human and humanoid actierns”, *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, vol. 7(4), pag. 413-422, 2012.
122. [Stareţu, 2010] Stareţu, I., “Sisteme de prehensiune”, Ed. a II-a revizuită şi adăugită, Braşov, Editura Lux Libris, 2010.
123. [Stratan, 2004] Stratan, E., “Profesionalizarea angajaţilor- oportunităţi moderne de comunicare”, *Symposia professorum. Seria: Biblioteconomie. Informare. Documentare: Materialele sesiunii ştiinţifice din 8-9 octombrie 2004*, Universitatea Liberă Internaţională din Moldova, Chişinău, pag. 53, 2005.
124. [Sugisaka, 2007] Sugisaka, M., Hazry, D., “Development of a proportional control method for a mobile robot,” *Applied Mathematics and Computational*, vol. 186(1), pag.74-82, 2007.
125. [Suthakorn, 2002] Suthakorn, J., Lee, S., Zhou, Y., Thomas, R., Choudhury, S., Chirikjian, G. S., “A robotic library system for an off-site shelving facility”, *Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA'02. IEEE International Conference on*, vol. 4, pag. 3589-3594, 2002.
126. [Suthakorn, 2006] Suthakorn, J., Lee, S., Zhou, Y., Choudhury, S., Chirikjian, G. S. “An enhanced robotic library system for an off-site shelving facility”, *Field and Service Robotics*, Springer Berlin Heidelberg, pag. 437-446, 2006.
127. [Tănase, 2002] Tănase, F., Năstase P., “Tehnologia aplicaţiilor web”, Bucureşti, Ed. Economică, 2002.
128. [Thornley, 2011] Thornley, C., Ferguson, S., Weckert, J., Gibb, F., “Do RFID (Radio Frequency Identifier Devices) provide new ethical dilemmas for librarians and information professionals?”, *International Journal of Information Management*, vol. 31(6), pag. 546–555, 2011.
129. [Tomizawa, 2002] Tomizawa T., Ohya A., Yuta, S., “Book Browsing System using an Autonomous Mobile Robot Teleoperated via the Internet”, *Intelligent Robots and Systems, 2002. IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 2, pag 1284-1289, 2002.
130. [Tomizawa, 2003a] Tomizawa, T., Ohya, A., Yuta, S. I., “Motion Design of Behavior Components in Remote Book Browsing Robot System”, *Proceedings of FIRA Robot World Congress*, 2003.
131. [Tomizawa, 2003b] Tomizawa, T.; Ohya, A.; Yuta, S., “Object Posture Recognition for Remote Book Browsing Robot System”, *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2003.

- 
132. [Tomizawa, 2003c] Tomizawa, T.; Ohya, A.; Yuta, S., "Remote Book Browsing System using a Mobile Manipulator", *Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA'03. IEEE International Conference on*; vol. 1, pag. 256-261, 2003.
133. [Tomizawa, 2004] Tomizawa, T.; Ohya, A.; Yuta, S. I., "Book Extraction for Remote Book Browsing Robot", *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 16, pag. 264-270, 2004.
134. [Tudora, 2011] Tudora, E., Alexandru, A., "Utilizarea tehnologiei RFID în identificarea, urmărirea trasabilității și verificarea autenticității produselor" *Revista Română de Informatică și Automatică*, vol. 21(3), 2011.
135. [Turk, 1991] Turk M., Pentland A., "Eigenfaces for recognition", *Journal of cognitive neuroscience*, vol. 3(1), pag. 72-86, 1991.
136. [Wang, 2011] Wang, J., "A cost-effective RFID encoding method for inventory identification", *African Journal of Business Management*, vol. 5, pag. 2572-2581, 2011.
137. [Woods, 2004] Woods, S., K., Schulz Dautenhahn, J., "The design space of robots: Investigating children's views", *Proceedings of Robot and Human Interactive Communication*, pag. 47-52, 2004.
138. [Wu, 2014] Wu, Y., Ma, B., Yang, M., Zhang, J., Jia, Y., "Metric learning based structural appearance model for robust visual tracking", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (TCSVT)*, vol. 24(5) pag. 865-877, 2014.
139. [Wu, 2015] Wu, Y., Jia, Y., Li, P., Yuan, J., Zhang, J., "Manifold kernel sparse representation of symmetric positive definite matrices and its applications", *IEEE Transactions on Image Processing (T-IP)*, vol. 24(11), pag. 3729-3741, 2015.
140. [Young, 2004a] Young, J., Nourbakhsh, I., "Low Overhead Manipulation of Bound Book Pages", *Robotics and Automation, Proceedings. ICRA'04. 2004 IEEE International Conference on*, vol.5, pag. 4326 - 4331, 2004.
141. [Young, 2004b] Young, K., "Using RFID tags to track library books could increase security and ease laborious stocktakes", *The Guardian*, London, 2004.
142. [Zhao, 2003] Zhao, W., Chellappa, R., Phillips, PJ, Rosenfeld, A., "Face recognition: a literature survey", *ACM Comput Surv* vol. 35(4), pag. 399-458, 2003.
143. [Zhou, 2002] Zhou, S., Chellappa, R. "Probabilistic human recognition from video", *Proceedings of the 7th European conference on computer vision (ECCV)*, Springer, London, pag. 681-697, 2002.
144. [ActivMedia Robotics, 2001] ActivMedia Robotics, "Pioneer 2 Arm Manual", Version 1, October 2001. Disponibil la:  
[http://www.iri.upc.edu/groups/lrobots/private/Pioneer2/AT\\_DISK1/DOCUMENTS/p2ArmMan.pdf](http://www.iri.upc.edu/groups/lrobots/private/Pioneer2/AT_DISK1/DOCUMENTS/p2ArmMan.pdf)
145. [ActivMedia Robotics, 2003] ActivMedia Robotics, "PowerBot™ Operations Manual with Hitachi H8S-based microcontroller & ActivMedia Robotics Operating System Software", version 1.2, February 2003. Disponibil la:  
<http://www.roboex.com/PowerBotManual.pdf>
146. [Adept Technology, Inc., 2015a] Adept Technology, Inc., "Foaie de date Pioneer P3 - DX". Disponibil la:  
<https://www.generationrobots.com/media/Pioneer3DX-P3DX-RevA.pdf>
147. [IFLA, 2005] International Federation of Library Associations and Institutions (IFLA), "Alexandria Manifesto on Libraries, the Information Society in Action", 2005. Disponibil la:  
<http://www.ifla.org/publications/alexandriamanifesto-on-libraries-the-information-society-in-action>
148. [Libramation, 2014] Libramation, "Library Solutions Products", 2014. Disponibil la:  
<http://www.libramation.com/>
149. [Logiccode, 2008] Logiccode S.A., "Care sunt beneficiile utilizării tehnologiei RFID?", 2008. Disponibil la:  
[http://www.logiccode.ro/rr\\_c\\_s\\_beneficiile\\_u\\_t\\_rfid.php](http://www.logiccode.ro/rr_c_s_beneficiile_u_t_rfid.php)

- 
150. [MobilRobots Inc., 2006] MobileRobots Inc., “Pioneer 3 Operations Manual with MobileRobots Exclusive Advanced Robot Control & Operations Software”, Version 3, January 2006. Disponibil la:  
[https://www.inf.ufrgs.br/~prestes/Courses/Robotics/manual\\_pioneer.pdf](https://www.inf.ufrgs.br/~prestes/Courses/Robotics/manual_pioneer.pdf)
151. [Softlink, 2019a] Softlink Cental Europa S.R.L., “Sisteme de informatizare a bibliotecii”. Disponibil la:  
<https://softlink.ro/index.php/solutii/informatizare-biblioteca?cv=1>
152. [Softlink, 2019c] Softlink Cental Europa S.R.L., “Liberty”, 2016. Disponibil la:  
<https://softlink.ro/index.php/solutii/informatizare-biblioteca/liberty>
153. [\*\*\*1] \*\*\*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Barcode>
154. [\*\*\*2] \*\*\*, <http://www.rollsoft.ro/>
155. [\*\*\*3] \*\*\*, <https://ro.wikipedia.org/wiki/RFID>
156. [\*\*\*6] \*\*\*, <http://www.infotouch.ro>

# REZUMAT

Prezenta teză de doctorat are un caracter multidisciplinar, fiind elaborată în baza unor concepte din domenii precum robotică, informatizare, biblioteconomie și sociologie. Pentru îmbunătățirea serviciilor din bibliotecile publice, în special, a activităților de manipulare și transport a cărților și documentelor de informare este conceput, dezvoltat, testat și implementat un sistem robotizat (SROSIB) care are la bază două platforme mobile pe roți, cu manipuloare. Acesta susține informatizarea proceselor de informare/documentare precum și optimizarea logisticii pornind de la sistemul informatic existent din Biblioteca Universității *Transilvania* din Brașov bazat pe tehnologia RFID. Cele două subsisteme robotice au fost dezvoltate pe platformele mobile cu roți, *Pioneer 3-AT* și *PowerBot*, pe care s-au integrat manipuloarele *Pioneer 2Arm (5 DOF)* și *PowerCube (6 DOF)*, pentru a realiza sarcini de informare, deplasare, manipulare și respectiv, de manipulare și transport. Planificarea traseelor de navigare în medii cu obstacole fixe și mobile și a celor de manipulare și transport, a impus modelarea cinematică a platformelor mobile, cu acționări diferențiale, a manipuloarelor precum și modelarea prehensiunii obiectelor de tip carte și document de informare (pliante, broșuri, CD/DVD-uri etc.). Sistemul vision elaborat pentru rezolvarea problemelor, pe de-o parte, de detecție și recunoaștere a fețelor și, pe de altă parte, a cărților și documentelor de informare utilizează module din biblioteca *OpenCV* completate și integrate funcțional. Algoritmii acestui sistem au la bază clasificatorul *AdaBoost*, caracteristicile de tip *Haar* și matricea de aproximare *Hessiană*. În scopul validării, SROSIB a fost testat pentru cazuri specifice de deplasare, manipulare și transport a cărților și documentelor de informare, urmărindu-se aspectele de evitare a coliziunilor cu obstacole, atât în mediul virtual, cât și cel real. În lucrare este prezentată și o interfață grafică dedicată utilizatorilor care face legătură cu celelalte interfațe ale subsistemelor robotice dezvoltate, permițând acestora transmiterea de cereri/informații către subsistemele de comandă și control de execuție. Pentru toate activitățile specifice de informare, recunoaștere, manipulare și transport s-au conceput și dezvoltat aplicații de testare și validare, inclusiv, pentru determinarea experimental a coeficienților de frecare dintre bacurile prehensoarelor și copertile cărților.

# ABSTRACT

The present doctoral thesis is a multidisciplinary approach being elaborated on the basis of concepts from fields such as robotics, information technology, library science and sociology. In order to improve the services of public libraries, in particular, of the handling and transport activities of books and information documents, a robotic system (SROSIB) was designed, developed, tested, and implemented. The system consists of two mobile platforms on wheels, with manipulators. It supports the automation of the information / documentation processes as well as the optimization of the logistics based on the existing computer system of the *Transilvania* University Library of Brasov using RFID technology. The two robotic subsystems were developed on the mobile wheeled platforms, *Pioneer 3-AT* and *PowerBot*, integrating the *Pioneer 2Arm (5 DOF)* and *PowerCube (6 DOF)* manipulators, designed to perform information, movement, manipulation tasks as well as handling & transport tasks. The planning of navigation routes in environments with fixed and mobile obstacles and those of handling and transport, imposed the kinematic modeling of the mobile platforms, with differential drives, manipulators as well as modeling of the prehension of book-type and information document-type objects (leaflets, brochures, CDs/DVDs, etc.). The vision system developed to solve problems, on the one hand, of face detection and recognition and, on the other hand, of books and information documents, uses modules from the *OpenCV* library that were complemented and functionally integrated. The algorithms of this system are based on the *AdaBoost* classifier, the *Haar* characteristics and the *Hessian* approximation matrix. For the purpose of validation, SROSIB was tested for specific cases of movement, handling and transport of books and information documents, with a focus on avoiding collisions with obstacles, both in the virtual and the real environment. The thesis also presents a graphical interface dedicated to the users that connects with the other interfaces of the developed robotic subsystems, allowing them to transmit requests / information to the command and execution subsystems. For all the specific activities of information, recognition, manipulation and transport, testing and validation applications have been designed and developed, as well as for the experimental determination of the coefficients of friction between the robotic grippers and the book covers.

## CURRICULUM VITAE



Nume: RADU (POP) CORINA MONICA  
Data și locul nașterii:  
Naționalitate: Română  
Adresa:  
E-mail: popcorina@unitbv.ro

### Studii:

2014 – prezent      Universitatea *Transilvania* din Brașov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Domeniul Inginerie Industrială, *Titlul Tezei de Doctorat – Cercetări privind Informatizarea Proceselor și Robotizarea Activităților de Manipulare și Transport din Biblioteci Publice*  
1991 – 1996      Universitatea *Transilvania* din Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică Profil Electromecanic, Specializarea Roboți Industriali

### Experiență profesională:

2015 – prezent      Inginer – Compartiment Mentenanță și Suport – Biblioteca Universității *Transilvania* din Brașov  
2008 – 2015      Șef Serviciu – Serviciu Informatizare și Producție de Carte – Biblioteca Universității *Transilvania* din Brașov  
2003 – 2008      Inginer – Serviciu Informatizare și Producție de Carte – Biblioteca Universității *Transilvania* din Brașov  
2002 – 2003      Inginer – Departament de Asigurarea Calității și Informatizare – Universitatea *Transilvania* din Brașov  
2001 – 2002      Inginer – S.C. ELCATE S.R.L. Brașov  
2000 – 2002      Profesor Tehnologia Informației și Comunicării – Școala Postliceală de Operatori Calculatoare și Tehnica Secretariatului – Colegiul Național “Unirea” Brașov  
1997 – 2001      Laborant informatică – Colegiul Național “Unirea” Brașov  
1993 – 1998      Reprezentant vânzări autoturisme – S.C. PROMPT SERVICE M. M. – S. R. L. Brașov  
1991 – 1996      Studentă – Universitatea *Transilvania* din Brașov  
1987 – 1991      Agent prestări servicii – Biroul Secretariat - Registratura – I. J. P. I. P. S. Brașov  
1985 – 1987      Lăcătuș mecanic – Comp. “Sistematizarea Circulației”– I. J. P. I. P. S. Brașov  
1984 – 1985      Lucrător comercial II – U.M.01107 Brașov – Casa Armatei Brașov

### Cunoștințe în domeniul științelor ingineresti și al calculatoarelor:

- Limbaje de programare: C/C++, HTML
- Programe editare: MS Office, Photoshop,

### Publicații: 21 (14 ca prim autor)

- 3 lucrări în proceedings IEEE/ISI (2 ca prim autor)
- 16 lucrări indexate BDI
- 2 cărți
- Participare la conferințe internaționale în Bulgaria, Grecia, Italia, România

### Limbi străine:

- Engleză – mediu
- Rusă – mediu

## CURRICULUM VITAE



Name: RADU (POP) CORINA MONICA  
Date and place of birth:  
Nationality: Romanian  
Address:  
E-mail

### Studies:

2014 – present *Transilvania* University of Braşov, Faculty of Mechanical Engineering,  
Field of Studies – Industrial Engineering, *PhD Thesis Name – Researches  
on Process Automation and Robotization of Handling and Transport Tasks  
in Public Libraries*

1991 – 1996 *Transilvania* University of Braşov, Faculty of Technological Engineering,  
Field of Studies – Electro-Mechanics, Area of Specialization – Industrial  
Robots

### Professional experience:

2015 – present Engineer – Maintenance and Support Compartment – *Transilvania*  
University Library of Braşov

2008 – 2015 Head of IT Department – *Transilvania* University Library of Braşov

2003 – 2008 Engineer – IT Department – *Transilvania* University Library of Braşov

2002 – 2003 Engineer – Quality Assurance and Computing Department –  
*Transilvania* University of Braşov

2001 – 2002 Engineer – "ELCATE" Ltd Braşov

2000 – 2002 Teacher of office automation – Post High School for Computer Operators  
and  
Secretary Technique – National College "Unirea", Braşov

1997 – 2001 Computing laboratory assistant – "Unirea" College, Braşov

1993 – 1998 Cars' sale and purchase – PROMPT SERVICE M.M Ltd

1991 – 1996 Student – Universitatea *Transilvania* din Braşov

1987 – 1991 Secretary – Registration Office – I.J.P.I.P.S Braşov

1985 – 1987 Mechanic – Traffic Systematization Department – I.J.P.I.P.S Braşov

1984 – 1985 Commercial agent II – U.M.01107 Braşov – Military Palace of Braşov

### Engineering and computer science skills:

- Programming language: C/C++, HTML
- Editing Software: MS Office, Photoshop

### Publications: 21 articles (14 as first author)

- 3 papers in IEEE/ISI Proceedings (2 as first author)
- 16 papers in BDI publications
- 2 books
- Participation at international conferences in Bulgaria, Grecia, Italia, România.

### Limbi străine:

- English – medium
- Russian – medium