



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



Fondul Social European
POS DRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
ȘI SPORTULUI
OIPOSDRU



Universitatea
"POLITEHNICA"
din Timișoara

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din TIMIȘOARA
Facultatea de Mecanică

Ing. Cristian POP

TEZĂ DE DOCTORAT
CONTRIBUȚII LA UTILIZAREA
PRELUCRĂRII AUTOMATE A
IMAGINII LA ROBOȚI DE
MANIPULARE

(Rezumat)

Coordonator științific
Prof.dr.Ing. Arjana DAVIDESCU

Timișoara
2013

CUPRINSUL TEZEI

LISTA DE TABELE	VIII
LISTA DE FIGURI	IX
1. INTRODUCERE	1
1.1. Generalități	1
1.2. Sisteme servoing vizuale	2
1.3. Structura și conținutul tezei de doctorat	7
2. STADIUL ACTUAL	9
2.1. Roboți industriali	9
2.2. Sisteme de vedere artificială	14
2.3. Algoritmi de vedere computerizată	20
2.4. Metode de prelucrare a imaginii	23
2.5. Calibrarea camerelor video	25
2.5.1. Modele geometrice ale camerelor video	25
2.5.2 Parametrii camerei	27
2.5.3. Metode de calibrare a camerei video	31
2.6. Aplicații robotizate cu vedere artificială	36
2.6.1. Aplicații în industria de automobile	38
2.6.2. Aplicații în industria alimentară	40
2.6.3. Aplicații în industria electronică	42
2.7. Concluzii	43
3. OBIECTIVELE ȘI PLANUL DE CERCETARE	45
3.1. Obiectivele cercetării	45
3.2. Planul de activitate	46
4. APLICAȚIE DE INSPECTARE A SUPRAFEȚELOR	47
4.1. Introducere	47
4.2. Sistemul de inspectare	47
4.3. Aplicația în Matlab	48
4.4. Concluzii și rezultate	52

5. PROIECTAREA DE APLICAȚII ÎN LABVIEW PENTRU PROCESAREA IMAGINILOR ȘI CONTROLUL ROBOȚILOR	53
5.1. Aplicație de identificare a tipului de obiecte	53
5.2. Aplicație de vedere robotizată	58
5.2.2 Generalități	58
5.2.2 Aplicația propriu zisă	59
5.3 Concluzii	63
6. APLICAȚIE DE DETECTARE ȘI RECUNOAȘTERE A UNOR OBIECTE ÎN VEDEREA MANIPULĂRII ROBOTIZATE	65
6.1 Introducere	65
6.2. Calibrarea robotul SCORA ER-14	67
6.2.1. Aspecte generale	67
6.2.2. Modelarea geometrică	67
6.2.3. Modelul matematic al determinării matricei de trecere	72
6.3. Calibrarea camerei	77
6.4. Aplicația propriu-zisă	83
6.5. Concluzii	88
7. CONCEPEREA ȘI DEZVOLTAREA UNOR APLICAȚII INDUSTRIALE DE TIP „PICK AND PLACE” ÎN MATLAB	89
7.1. Aplicație de detectare și recunoaștere a tipului de obiect aflat într-o poziție fixă, cunoscută	89
7.2. Aplicație de detectare și recunoaștere a tipului de obiect aflat într-o poziție necunoscută	98
7.2.1. Aplicația propriu-zisă	98
7.2.2. Modelul matematic de determinare a poziției rulmentului în buffer pe baza a patru puncte.	100
7.3. Aplicație de detectare, recunoaștere, identificare, sortare și manipulare a unor obiecte suprapuse	107
7.4. Concluzii	112
8. APLICAȚIE DE RECUNOAȘTERE ȘI PREHENSARE A OBIECTELOR	113
8.1. Introducere	113

8.2. Metodă de prehensare bazată pe simetrie	114
8.3. Algoritmul de vedere robotizată	119
8.4. Rezultate și concluzii	124
9. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	127
9.1. Concluzii și contribuții originale	127
9.3. Direcții viitoare de cercetare	128
BIBLIOGRAFIE	129
ANEXE	143
Anexa 1: Evoluția roboților industriali	143
Anexa 2: Codul sursă, în Matlab, pentru metoda Tsai de calibrare a camerelor video.	145
Anexa 3: Codul sursă, în Matlab, pentru metoda Faugeras de calibrare a camerelor video.	148
Anexa 4: Programul în Matlab pentru aplicația de inspectare a suprafețelor	150
Anexa 5: Diagrama programului implementat în Labview, de control al unui robot cartezian, pe bază de imagini.	160
Anexa 6: Programul pentru generarea fișierului „Traiectorie.txt” necesar conducerii robotului	165
Anexa 7: Program, în Matlab, pentru detectarea obiectului pe bază de culoare în spațiul HSV	168
Anexa 8: Programul din controlerul robotului pentru aplicația cu paralelipede	170
Anexa 9: Program pentru recunoașterea tipului de rulment pe bază de șablon	171
Anexa 10: Programul din controlerul robotului pentru aplicația de simetrie	174
Anexa 11: Lista publicațiilor personale publicate sub afiliere UPT	175

REZUMAT

Teza de doctorat abordează o temă de cercetare multidisciplinară, ce implică cunoștințe din domeniul ingineriei mecanice, roboticii și științei calculatoarelor. Prin prezenta cercetare se aduc o serie de contribuții, atât teoretice cât și practice, la utilizarea prelucrării automate a imaginii pentru conducerea unor roboți industriali.

Lucrarea cuprinde aspecte teoretice, cu privire la principalele componente ale unui sistem de vedere robotizat, aplicații actuale de vedere robotizată din industrie, și o analiză a metodelor de calibrare a camerelor video, existente în literatura de specialitate, finalizată prin implementarea a două metode în mediul de lucru Matlab.

Aplicațiile ce au fost dezvoltate, cu grad de dificultate gradual, presupun anumiți algoritmi de vedere computerizată, concepuți și implementați de autor, pentru conducerea autonomă și semi-autonomă a roboților, cu scopul de îmbunătățire a proceselor de manipulare robotizate. Acești algoritmi s-au axat în principiu pe operații de detectare, recunoaștere și identificare a unor obiecte variate, în vederea extragerii anumitor caracteristici necesare operației de conducere a roboților.

Lucrarea prezintă, de asemenea, și un model matematic original al autorului, ce permite determinarea poziției unor obiecte în spațiu, pe baza coordonatelor a patru puncte caracteristice, extrase din două imagini ale obiectului, ce sunt prelevate de două camere situate în planuri perpendiculare.

În vederea atingerii obiectivului central al tezei, autorul a formulat o serie de obiective conexe, din care sunt menționate:

- Dezvoltarea unor aplicații de vedere robotizată prin elaborarea unor algoritmi de vedere computerizată pe baza metodelor existente de prelucrare și procesare a imaginilor cu scopul recunoașterii unor obiecte industriale 2D (de tip placă);

- Dezvoltarea unor aplicații de vedere robotizată și elaborarea unor algoritmi pentru recunoașterea obiectelor de tip 3D;
- Dezvoltarea și implementarea unui algoritm de vedere computerizată într-o celulă robotizată în vederea optimizării prinderii și manipulării unui obiect de tip industrial.

Pentru îndeplinirea obiectivelor propuse, autorul a conceput, proiectat, dezvoltat și implementat o serie de aplicații prezentate pe mai multe capitole. Structura și conținutul tezei de doctorat se prezintă după cum urmează:

Teza de doctorat se întinde pe 187 de pagini și este structurată pe 9 capitole. Lucrarea mai cuprinde o bibliografie de 185 de titluri în marea lor majoritate de dată recentă, 87 de figuri, 18 tabele, precum și 11 anexe.

Capitolul 1, „Introducere”, fixează cadrul general al lucrării și tratează aspecte cu privire la utilizarea vederii artificiale în domeniul roboticii, o clasificare a sistemelor de servoing vizual, avantajele acestora și prezintă succint structura tezei de doctorat.

Capitolul 2, „Stadiul actual”, prezintă o sinteză bibliografică cu privire la domeniul de activitate în care se încadrează tema de cercetare, respectiv aspecte generale cu privire la roboții industriali, tipuri de roboți utilizați frecvent în aplicații de servoing vizual și avantajele acestora. De asemenea se prezintă noțiuni cu privire la sistemele de vedere artificială, componența acestora, metode de calibrare a camerelor video, algoritmi de vedere coputerizată utilizați frecvent in aplicatii de vedere robotizată, metode de prelucrare a imaginilor ce stau la baza acestor algoritmi și aplicații de vedere robotizată existente la ora actuală în industrie.

Capitolul 3, „Obiectivele și planul de cercetare”, schițează principalele direcții de cercetare ale prezentei teze, motivația abordării temei, obiectivele și planul de cercetare propus.

Capitolul 4, „Aplicație de inspectare a suprafețelor”, prezintă o aplicație de vedere robotizată concepută pentru realizarea unei operații de

inspectare ce presupune detectarea, identificarea și determinarea tipului de fisură sau crăpătură de la nivelul suprafeței analizate.

Capitolul 5, „Proiectarea de aplicații în LabView pentru procesarea imaginilor și controlul roboților” descrie modalitatea de elaborare a două aplicații, una de servoing vizual și cealaltă de vedere computerizată, utilizând mediul de lucru LabView și camere video industriale de tip „smart camera”.

Capitolul 6, „Aplicație de detectare și recunoaștere a unor obiecte în vederea manipulării robotizate” tratează detectarea și recunoașterea de obiecte pe bază de vedere artificială și prezintă utilizarea unui algoritm, dezvoltat de autor, în cadrul unei aplicații de servoing vizual al cărui scop îl reprezintă manipularea unor obiecte colorate pe baza unei caracteristici geometrice.

Capitolul 7, „Conceperea și dezvoltarea unor aplicații industriale de tip „pick and place” în Matlab”, prezintă implementarea pe o structură robotizată, a trei aplicații industriale concepute și dezvoltate pentru identificarea, manipularea și sortarea unor piese industriale.

Capitolul 8, „Aplicație de recunoaștere și prehensare a obiectelor” tratează implementarea într-o aplicație de vedere robotizată, a unei noi metode de determinare a punctelor de prehensare optime, în cazul unor obiecte necunoscute, pentru realizarea unei manipulări stabile, de către roboții industriali.

Capitolul 9, „Concluzii, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare” prezintă concluziile finale, contribuțiile originale și perspectivele privind dezvoltarea cercetărilor în domeniu. Dintre contribuțiile cele mai importante pot fi menționate următoarele:

- Realizarea unei sinteze bibliografice, a principalelor aspecte cu privire la domeniul de cercetare;
- Determinarea principalelor componente necesare în realizarea oricărei aplicații de vedere robotizată;

- Realizarea unei analize amănunțite a modelelor de calibrare a camerelor video, existente în literatura de specialitate;
- Implementarea în Matlab a două modele clasice de calibrare a camerelor video;
- Proiectarea, dezvoltarea și implementarea unei aplicații de prelucrări de imagini, în Matlab, ce poate fi folosită la maparea unei clădiri, și inspectarea defectelor de suprafață;
- Conceperea, proiectarea, și implementarea, în Vision Builder for Automated Inspection, a unei aplicații de detectare și recunoaștere a unor obiecte de tip 2D (obiecte la care cea de-a treia dimensiune este neglijabilă în raport cu celelalte două).
- Proiectarea, dezvoltarea și implementarea unei aplicații de conducere a unui robot cartezian pe baza informațiilor furnizate de un algoritm de prelucrare de imagini, utilizând mediul de lucru LabView.
- Realizarea unei aplicații de vedere robotizată, pentru detectarea, recunoașterea și manipularea stabilă a unor obiecte colorate.
- Realizarea unei analize, asupra unei metode de calibrare a camerelor video, implementată în Matlab („camera calibration toolbox”, de tip „open source”) și aplicarea acesteia în calibrarea camerelor din dotare.
- Implementarea unei metode, pentru determinarea matricei de transformare omogenă, în cazul robotului SCORA ER 14.
- Dezvoltarea unui algoritm de recunoaștere a unor obiecte de tip industrial (rulmenți radiali cu bile).
- Dezvoltarea unui algoritm original de comparare a unui obiect detectat cu un șablon;
- Proiectarea, dezvoltarea și implementarea unei aplicații de vedere robotizată, pe stația avută în dotare (din cadrul laboratorului CIM), pentru recunoașterea unui obiect aflat într-o poziție fixă, cunoscută.

- Dezvoltarea unui model matematic original, pentru determinarea poziției unui obiect în spațiu, pe baza coordonatelor a patru puncte extrase din două imagini ale obiectului, ce sunt prelevate de două camere situate la 90° (unghiul format de axele optice ale celor două camere este de aproximativ 90°).
- Proiectarea, dezvoltarea și implementarea unei aplicații de vedere robotizată, pentru detectarea, recunoașterea, manipularea, sortarea și depozitarea unui obiect aflat într-o poziție necunoscută.
- Dezvoltarea unui algoritm de detectare, decelare și selectare a unor obiecte ce se regăsesc suprapuse într-o imagine.
- Proiectarea, dezvoltarea și implementarea unei aplicații de vedere robotizată, pentru detectarea, recunoașterea, manipularea, sortarea și depozitarea mai multor obiecte suprapuse, aflate în poziții necunoscute.
- Dezvoltarea unui algoritm de recunoaștere a unor obiecte cu forme variabile.
- Implementarea unui algoritm de detectare a punctelor de prehensare optime, ale unor piese necunoscute, într-o aplicație robotizată, în vederea determinării orientării piesei și realizării unei manipulări stabile, pentru efectuarea unei operații de asamblare.

O parte din rezultatele obținute, prezentate în teză, au fost diseminate în următoarele articole științifice:

- Două lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate ISI:
- **Pop Cristian**, Grigorescu Sanda Margareta, Davidescu Arjana – “Robot Vision Application for Bearings Identification and Sorting”, Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics, ISBN-13:978-3-03785-395-5, Applied Mechanics and Materials, vol. 162, ISSN 1660-9336 Trans Tech Publications, 2012, pp.523-531.
- **Pop Cristian**, Grigorescu Sanda Margareta, Davidescu Arjana – “Colored object detection algorithm for visual-servoing application”,

Proc. 13th Int. Conf. on Optimization of Electrical and Electronic Equipment OPTIM 2012, Brasov, Romania, ISBN: 978-1-4673-1653-8/12, pp. 1539-1544, May 2012, IEEE.

- Trei lucrări științifice publicate în reviste sau volumele unor manifestări științifice (Proceedings) de specialitate indexate BDI:
- **Pop Cristian**, Davidescu Arjana, Moldovan Florina – “Object recognition using a smart camera”, Romanian Review Precision Mechanics, Optics And Mechatronics, ISSN 1584-5982, Editura Cefin, Bucuresti, Romania, nr. 39, 2011, pp. 189-193.
- **Pop Cristian**, Davidescu Arjana –“Buildings Inspections by Image Processing Approach”, Proceedings of the Fifth International Conference on Optimization of the Robots and Manipulators, OPTIROB 2010,Călimănești, România, ISBN 978-981-08-5840-7, May 2010, pp. 205-209.
- **Pop Cristian** – “Improvement of Automated Robot Assembly Process using Image Processing Methods”, Workshop_ul nr.2 Interdisciplinaritatea și managementul cercetării, Universitatea „Politehnica” din Timișoara, Secțiunea Mecanică, Timișoara pp. 45-46.