

CONTRIBUȚII LA UTILIZAREA ROBOȚILOR ÎN AGRICULTURĂ PENTRU APLICAȚII DE COMBATERE A BURUIENILOR (REZUMAT)

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

Ing. dipl. Mihaela Tilneac

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Valer Dolga
Prof.univ.dr.ing. Radu Bălan
Prof.univ.dr.ing. Doru Talabă
Prof.univ.dr.ing. Arjana Davidescu

Ziua susținerii tezei: 27.02.2012

Teza de doctorat cuprinde 228 pagini, 130 figuri, 34 tabele.

Cuvinte cheie:

Roboți, Agricultură, Navigare, Recunoaștere plante, Combatere buruieni, Calibrare camere video, Sisteme stereoscopice

Rezumat,

Teza de doctorat aduce contribuții în dezvoltarea roboților pentru agricultură. Obiectivul ce stă la baza cercetării este realizarea unui robot pentru combaterea buruienilor de pe terenurile agricole utilizând sisteme mecanice. Spre deosebire de combaterea buruienilor prin erbicidare, combaterea mecanică aduce avantaje de natură ecologică. Principalele funcții pe care robotul trebuie să le îndeplinească sunt următoarele: (1) navigarea printre rândurile de culturi; (2) recunoașterea plantelor; (3) înlăturarea mecanică a buruienilor.

În teza de doctorat sunt prezentate rezultatele cercetărilor efectuate în scopul perfecționării funcțiilor enumerate anterior. Referitor la funcția de navigare, au fost efectuate studii privind navigarea robotului prin ghidare automată de-a lungul rândurilor de culturi, detectate printr-un sistem vizual format din camere 3D-ToF (Time of Flight). Cercetările privind utilizarea camerelor 3D-ToF au fost începute în perioada stagiului de cercetare la „Fachhochschule Osnabrück” din Germania, sub îndrumarea d-lui prof. dr. rer. nat. Arno Ruckelshausen și a d-lui ing. dipl. Ralph Klose. Pentru recunoașterea speciilor de plante, au fost investigate diverse metode. Unele cercetări au avut ca scop recunoașterea speciilor de plante pe baza culorilor. Alte cercetări au avut ca obiectiv recunoașterea speciilor de plante pe baza caracteristicilor geometrice ale frunzelor. Un alt studiu a constatat în corelarea imaginilor prelevate de la un sistem optic format dintr-o cameră 3D-ToF și o cameră 2D-color. Prin acest procedeu pot fi obținute simultan informații despre culorile plantei, respectiv distanțele la care se află punctele care aparțin suprafeței plantei. Corelarea imaginilor implică cercetări ample privind calibrarea camerelor video și utilizarea sistemelor de vedere stereoscopică. Autoarea tezei a dezvoltat o metodă originală de calibrare intrinsecă, și două metode originale de calibrare extrinsecă a camerelor video. În lucrare este prezentată o metodă de diferențiere buruienă/plantă pe baza valorilor înălțimilor determinate prin utilizarea unui sistem stereoscopic. În teza de doctorat este prezentat un concept de robot pentru agricultură dotat cu dispozitiv mecanic de înlăturare a buruienilor.

Cuprins

1	Introducere
1.1	Motivația abordării tematicii alese
1.2	Structura tezei de doctorat
2	Sinteze bibliografice privind tematica tezei de doctorat
2.1	Stadiul actual de utilizare a roboților mobili în aplicații de combatere a buruienilor
2.1.1	Introducere
2.1.2	Navigarea robotului printre rândurile de culturi
2.1.3	Recunoașterea speciilor de plante
2.1.4	Vedere stereo, modelare 3D și fuziune senzorială
2.1.5	Combaterea buruienilor utilizând sisteme automate
2.1.6	Prototipuri de roboți pentru protecția culturilor de plante
2.1.7	Concursul internațional „Field Robot Event”
2.1.8	Sisteme de securitate în timpul funcționării robotului
2.1.9	Concluzii
2.2	Calibrarea camerelor video
2.2.1	Generalități
2.2.2	Calibrarea intrinsecă
2.2.3	Calibrarea extrinsecă
2.2.4	Metode de calibrare OFF-LINE (sinteză bibliografică)
2.2.5	Metode de calibrare ON-LINE (sinteză bibliografică)
2.2.6	Concluzii
3	Obiectivele și planul de cercetare
3.1	Obiectivele cercetării
3.2	Planul de cercetare
4	Contribuții la recunoașterea speciilor de plante pe baza culorilor
4.1	Introducere
4.2	Standul experimental
4.3	Analiza experimentală a culorilor frunzelor în condiții variabile de iluminare
4.4	Programul de procesare a culorilor
4.5	Concluzii
5	Contribuții la recunoașterea speciilor de plante pe baza formelor frunzelor
5.1	Introducere
5.2	Experiment 1 - Identificarea culorilor și a formelor prin procesare de imagini
5.3	Experiment 2 - Recunoașterea semnăturilor frunzelor
5.4	Experiment 3 - Recunoașterea formelor frunzelor
5.5	Selectarea frunzelor în cadrul unei aplicații robotizate
5.6	Programe de recunoaștere a frunzelor
5.7	Concluzii
6	Localizarea obiectelor în spațiul tridimensional
6.1	Introducere
6.2	Măsurarea distanței prin utilizarea unui cerc
6.3	Măsurarea distanțelor utilizând vederea stereo
6.4	Programul de măsurare a distanțelor
7	Calibrarea camerelor video
7.1	Calibrare intrinsecă
7.1.1	Introducere
7.1.2	Algoritmi matematici

7.1.3	Descrierea experimentului
7.1.4	Rezultatele experimentului
7.1.5	Concluzii
7.2	Calibrare extrinsecă prin metode analitice
7.2.1	Introducere
7.2.2	Modelul matematic
7.2.3	Descrierea experimentului
7.2.4	Rezultatele experimentului
7.3	Calibrare extrinsecă utilizând modele CAD
7.4	Concluzii
8	Diferențierea buruiană/plantă pe bază de măsurări optice tridimensionale
8.1	Introducere
8.2	Localizarea planului solului
8.3	Determinarea ecuației planului baza mai multor imagini
8.4	Diferențierea buruiană plantă
8.5	Concluzii
9	Utilizarea camerei 3D-ToF (Time of Flight) pentru aplicații în agricultură
9.1	Introducere
9.2	Analiza plantelor utilizând un sistem stereo format dintr-o cameră 3D-ToF (Time of Flight) și o cameră 2D-color
9.3	Utilizarea camerelor 3D-ToF (Time of Flight) la navigarea robotului mobil
9.4	Concluzii
10	Proiectarea și realizarea robotului GardenerRob pentru aplicații în agricultură
10.1	Introducere
10.2	Structura dispozitivului de ghidare (DG) și a efectorului final (EF)
10.3	Modelul geometric direct și invers al robotului serial
10.4	Modul de funcționare al robotului autonom GardenerRob
10.5	Concluzii
11	Concluzii finale, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare
11.1	Concluzii finale
11.2	Contribuții originale
11.3	Direcții viitoare de cercetare
	Lista publicațiilor personale
	Bibliografie
	Anexe
	Anexa A; Programe MATLAB pentru procesarea culorilor din imagine
	Anexa B; Programe MATLAB pentru procesarea formelor din imagine
	Anexa C; Programe MATLAB pentru calibrarea camerelor video
	Anexa D; Programe MATLAB utilizate la diferențierea buruiană/plantă de baza înălțimilor
	Anexa E; Programe MATLAB pentru corelarea imaginilor
	Anexa F; Programe utilizate la sistemul de navigare al robotului
	Anexa G; Măsurarea distanțelor utilizând vederea stereo
	Curriculum vitae

1 Structura tezei de doctorat

În lucrare sunt prezentate rezultatele unor experimente de recunoaștere a speciilor de plante pe baza culorilor și a formelor frunzelor. În teză este prezentat un studiu de stabilire a interdependenței culoare-luminozitate pentru frunze aparținând unor specii diferite de plante (roșie, ardei, vânăță). Acest studiu este util pentru adaptarea pragului de binarizare a imaginii în funcție de luminozitatea din mediul ambiant. Stereoscopia este tema cea mai des abordată în teza de doctorat, deoarece prin această tehnică pot fi obținute simultan informații despre culoare și distanță. Aceste informații sunt necesare atât pentru a face diferențierea între planta cultivată și buruiună, cât și pentru detectarea rândurilor de culturi. Calibrarea camerelor este prima etapă în utilizarea sistemelor stereoscopice. În lucrare sunt prezentate trei metode originale de calibrare a camerelor video.

Capitolul 1, *Introducere*, prezintă motivația abordării tematicii alese și structura tezei de doctorat.

Capitolul 2, *Sinteze bibliografice privind tematica tezei de doctorat*, este structurat în două subcapitole. Primul subcapitol prezintă o sinteză bibliografică privind stadiul actual de utilizare a roboților mobili în aplicații de combatere a buruienilor. Al doilea subcapitol prezintă o sinteză bibliografică privind metodele de calibrare a camerelor video.

Capitolul 3, *Obiectivele și planul de cercetare*, prezintă obiectivele cercetării și planul de cercetare.

Capitolul 4, *Contribuții la recunoașterea speciilor de plante pe baza culorilor*, prezintă rezultatele unor studii privind influența luminii asupra culorilor plantelor. Sunt descrise două experimente prin care au fost determinate interdependențele între valorile tensiunilor unei fotodiode și valorile componentelor de culoare în spațiile RGB, respectiv HSV.

Capitolul 5, *Contribuții la recunoașterea speciilor de plante pe baza formelor*, prezintă aplicații de recunoaștere a speciilor de plante pe baza caracteristicilor geometrice ale frunzelor.

Capitolul 6, *Localizarea obiectelor în spațiul tridimensional*, prezintă două tehnici de localizare a unui punct din scenă în raport cu sistemul de referință al camerei video. Prima tehnică prezintă o modalitate de a localiza poziția centrului unui cerc al cărui diametru este cunoscut. A doua tehnică prezintă o modalitate de localizare a unui punct din scenă, utilizând un sistem de vedere stereo binocular. Tot în acest capitol este prezentată o metodă de determinare a ecuației planului corespunzător solului.

Capitolul 7, *Calibrarea camerelor video*, prezintă contribuții în dezvoltarea a trei metode originale de calibrare a camerelor video. Prima metodă este utilizată la calibrarea intrinsecă. Celelalte două metode sunt utilizate la calibrarea extrinsecă a camerelor video. Metodele dezvoltate au avantajul că pot fi utilizate atât în laborator, cât și pe terenurile agricole.

Capitolul 8, *Diferențierea buruiună/plantă pe bază de măsurări optice tridimensionale*, prezintă o tehnică de măsurare a înălțimii plantelor prin utilizarea unui sistem de vedere stereo binocular. Diferențierea buruiună/plantă este realizată pe baza diferențelor de înălțime.

Capitolul 9, *Utilizarea camerei 3D-ToF (Time of Flight) pentru aplicații în agricultură*, prezintă exemple de aplicabilitate a camerei 3D-ToF. Prin corelarea unei camere 3D-ToF cu o cameră 2D-color pot fi obținute simultan informații despre culoarea și distanța la care se află un punct de pe suprafața unei plante. Rândurile

de culturi pot fi detectate pe baza informațiilor de distanță prelevate de la două camere 3D-ToF.

Capitolul 10, *Proiectarea și realizarea robotului GardenerRob pentru aplicații în agricultură*, prezintă un concept de robot mobil pentru aplicații de combatere a buruienilor prin sisteme mecanice.

Capitolul 11 prezintă concluziile finale, contribuțiile personale, și direcțiile viitoare de cercetare.

2 Contribuții originale

Studiile efectuate și rezultatele obținute au condus, în urma unei raportări la realizări similare din domeniul abordat, la posibilitatea enunțării unui set de contribuții personale:

- Analiza influenței luminozității asupra componentelor de culoare RGB și HSV ale frunzelor de roșie ardei și vânăță.
- Dezvoltarea în mediul MATLAB a unui program de procesare a culorilor unei frunze selectate în imagine și analiza statistică a culorilor specifice anumitor specii de plante.
- Analiza semnăturilor frunzelor de roșie, ardei și vânăță în scopul identificării acestora pe baza numărului de puncte de inflexiune.
- Dezvoltarea unui program de învățare a speciilor de plante pe baza culorilor și a formelor frunzelor. Formele frunzelor au fost determinate pe baza unor proprietăți geometrice: arie, perimetru, diagonale.
- Dezvoltarea unui program de recunoaștere a speciilor de plante prin analiza formei frunzei.
- Aplicații robotizate de „visual servoing” pentru indicarea frunzelor recunoscute în imagine.
- Dezvoltarea unei metode originale de determinare a distanței focale a camerei video. Pentru această aplicație a fost dezvoltat un program MATLAB prevăzut cu interfață grafică.
- Dezvoltarea unei metode originale de calibrare extrinsecă camerelor video prin utilizarea a patru obiecte de calibrare de formă circulară. Programul MATLAB este prevăzut cu interfață grafică pentru utilizator.
- Dezvoltarea unei metode originale de calibrare extrinsecă a camerelor video prin utilizare de modele CAD. Metoda se bazează pe modelarea sistemului optic format din două camere video. Constrângerile geometrice sunt realizate cu ajutorul a trei puncte de control care corespund centrelor a trei obiecte de calibrare de formă circulară.
- Corelarea punctelor omoloage ale imaginilor prelevate de la un sistem de vedere stereo format dintr-o cameră 3D-ToF (Time of Flight) și o cameră 2D color. Pentru această aplicație a fost dezvoltat un program MATLAB prevăzut cu interfață grafică
- Dezvoltarea unui sistem de navigare a robotului printre rândurile de culturi utilizând două camere 3D-ToF (Time of Flight).
- Diferențiere buruienă/plantă pe baza diferențelor de înălțime măsurate printr-un sistem stereo binocular.
- Elaborarea conceptuală a unui sistem mecatronic destinat combaterii buruienilor.

Lista publicațiilor personale

- **Tilneac M.**, Dolga V., 2010 – „Individual Plant Recognition Using the RGB Color Model”, Proc. IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, IEEE MELECON 2010, Valletta, Malta, ISBN 978-1-4244-5794-6, Aprilie 2010, Pag.. 1147-1152. Lucrare indexată ISI - Web of Knowledge.
- **Tilneac M.**, Dolga V. – „Extrinsic Calibration of a Multi-Camera Network Used for Individual Plant Phenotyping”, Proceedings of Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), 2011 IEEE International Conference, Cluj-Napoca, Romania, ISBN 978-1-4577-1479-5, August 2011, Pag. 353 – 359. Lucrare indexată BDI.
- **Tilneac M.**, Dolga V., 2009 – „Agricultural Robots: Individual Plant Recognition”, Proc. Danube Adria Association for Automation & Manufacturing, DAAAM 2009, Viena, Austria, ISSN 1726-9679, Noiembrie 2009, Pag. 969-970. Lucrare indexată ISI - Web of Knowledge.
- **Tilneac M.**, Grigorescu S., Paléologue V., Dolga V., 2010 – „Wrist Mounted Camera for Colour and Shape Recognition”, Proceedings of the 5th International Conference on Optimization of the Robots and Manipulators, OPTIROB 2010, Călimănești, Romania, ISBN 978-981-08-5840-7, Mai 2010, Pag. 200-204. Lucrare indexată BDI.
- **Tilneac M.**, Dolga V., 2011 – „Extrinsic Camera Calibration and Camera-Matching for Plant Phenotyping Using CAD (Computer-Aided Design) Models”, The 10-th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, COMEFIM 10, București, Romania, Mai 2011, Proceedings of the International Journal Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, edited by INCDMTM, București, România, ISSN 1584-5982, Volume 39, 2011, Pag.. 45-50. Lucrare indexată BDI
- Grigorescu S., **Tilneac M.**, Dolga V., Paléologue V., 2010 – „Wrist Mounted Camera for Leaves Shape Recognition”, Proceedings of the International Journal ROBOTICA & MANAGEMENT, Timișoara, România, ISSN 1453-2069, Volume 15, Issue 1, Pag. 47-50.
- Bussemeyer L., Klose R., Linz A., Thiel M., Wunder E., Ruckelshausen A., **Tilneac M.**, 2010 - „Agro-sensor systems for outdoor plant phenotyping platforms in low and high density crop field plots”, Proceedings of the 68th International Conference Land-Technik 2010, Braunschweig, Germania, ISBN 978-3-18-092111-2, Pag. 213 - 218. Lucrare indexată BDI.
- Feldkämper N., Hufendiek H., Jahn H., Kampmeyer C., Kerssen S., Lemke C., Mosler D., Rave P., Simon S., **Tilneac M.**, Westerhoff J., Wunder E., 2010 - „Team Optimaizer”, Proceedings of the 8th Field Robot Event 2010, 11-13 Iunie 2010, Braunschweig, Germania, Pag. 185-202.
- **Tilneac M.**, Dolga V., Grigorescu S., Bîtea M. A., 2012 - „3D stereo vision measurements for weed-crop discrimination”, ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING, ISSN 1392 – 1215. (În curs de publicare.)