

CONTRIBUȚII LA ANALIZA TEORETICĂ ȘI EXPERIMENTALĂ PRIVIND INTEGRAREA HARDWARE ÎN STRUCTURA UNUI ROBOT MOBIL (REZUMAT)

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

Fiz. Tony Stănescu

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Valer Dolga
Prof.univ.dr.ing. Radu Bălan
Prof.univ.dr.ing. Radu Cătălin Țarcă
Conf.univ.dr.ing. Erwin Christian Lovasz

Ziua susținerii tezei: 13.07.2015

Teza de doctorat cuprinde: 211 pagini, 154 figuri, 84 tabele.

Cuvinte cheie:

Robot mobil, Senzor ultrasonic, Senzor în infraroșu, Fenomene ondulatorii, Incertitudine

Rezumat,

Teza de față își propune o serie de contribuții, atât teoretice cât și practice în analiza unui mediu nestructurat și să prezinte studiul experimental al navigării unui robot mobil în mediul respectiv. Obiectivul principal al tezei de doctorat este: analiza teoretică, constructivă și experimentală a unui robot mobil, autonom, destinat cercetărilor dintr-un mediu nestructurat. Tema abordată se bazează pe cunoștințe din domeniul teoriei mecanismelor, mecanicii, fenomenelor ondulatorii și domeniul roboticii.

Lucrarea a fost structurată într-o introducere, șapte capitole destinate obiectivului principal al tezei, un capitol de concluzii la care se adaugă bibliografia și anexele aferente. Au fost dezvoltate modelele matematice ale caracteristicilor directe și inverse pentru senzorii ultrasonici: Parallax Ping și XL-MaxSonar-EZ/AE MB1200 și a senzorului în infraroșu Sharp GP2Y0A02YK. S-a analizat experimental navigarea robotului mobil studiat pe o traiectorie impusă și în prezența unui obstacol.

Rezultatele cercetărilor efectuate s-au materializat prin publicarea a 7 lucrări, dintre care 4 în circuitul ISI Proc.

CUPRINS

1. Introducere

- 1.1. Mecatronică și robotică
- 1.2. Motivația abordării temei tezei de doctorat
- 1.3. Obiectivele tezei de doctorat
- 1.4. Structura tezei de doctorat

2. Aspecte fizice privind fenomenele ondulatorii și aplicațiile lor în mecatronică

- 2.1. Noțiuni generale
- 2.2. Oscilații
- 2.3. Unde
- 2.4. Proprietăți acustice ale mediului
- 2.5. Fenomene optice
- 2.6. Reflexia radiației electromagnetice
- 2.7. Concluzii

3. Incertitudine și probabilistică

- 3.1. Generalități
- 3.2. Ignoranță, informație, date și incertitudine
- 3.3. Fuziunea informației
 - 3.3.1. Introducere
 - 3.3.2. Metode utilizate pentru fuziunea informației
 - 3.3.3. Teoria evidenței
 - 3.3.3.1. Generalități privind teoria evidenței
 - 3.3.3.2. Aspecte matematice ale teoriei evidenței
- 3.4. Incertitudini în analiza probabilistică
 - 3.4.1. Generalități
 - 3.4.2. Estimarea probabilistică a unui obstacol în mediu de lucru al unui robot mobil
- 3.5. Concluzii

4. Senzori și caracteristicile lor de funcționare

- 4.1. Introducere
- 4.2. Senzori utilizați în cercetările experimentale
- 4.3. Caracteristica senzorului ultrasonic Parallax Ping
 - 4.3.1. Standul experimental și procedura de lucru
 - 4.3.2. Desfășurarea experimentelor

- 4.3.3. Concluzii
- 4.4. Caracteristica senzorului ultrasonic XL-MaxSonar-EZ/AE MB1200
 - 4.4.1. Standul experimental și procedura de lucru
 - 4.4.2. Desfășurarea experimentelor
 - A. Caracteristica directă și ecuația acesteia
 - B. Caracteristica inversă și ecuația acesteia
 - 4.4.3. Concluzii
- 4.5. Determinarea caracteristicii senzorului infraroșu Sharp GP2Y0A02YK
 - 4.5.1. Standul experimental și procedura de lucru
 - 4.5.2. Desfășurarea experimentelor
 - 4.5.2.1. Experimentul 1 pentru obiect de culoare albă
 - A. Caracteristica directă și ecuația acesteia
 - B. Caracteristica inversă și ecuația acesteia
 - 4.5.2.2. Experimentul 2 pentru obiect de culoare roșie
 - A. Caracteristica directă și ecuația acesteia
 - B. Caracteristica inversă și ecuația acesteia
 - 4.5.2.3. Experimentul 3 pentru obiect de culoare verde
 - A. Caracteristica directă și ecuația acesteia
 - B. Caracteristica inversă și ecuația acesteia
 - 4.5.3. Concluzii
- 4.6. Concluzii finale

5. Analiza spațiului de lucru pe baza senzorilor în infraroșu și cu ultrasunete

- 5.1. Senzorul infrarosu Sharp GP2Y0A21YK
 - 5.1.1. Determinarea unghiului cu care este rotit un obiect dreptunghic
 - 5.1.1.1. Considerente teoretice
 - 5.1.1.2. Concluzii
 - 5.1.2. Determinarea distanței folosind trei senzori IR până la două obiecte cu formă dreptunghică plasate paralel.
 - 5.1.2.1. Setul 1 de experimente
 - 5.1.2.2. Setul 2 de experimente
 - 5.1.2.3. Setul 3 de experimente
 - 5.1.2.4. Setul 4 de experimente
 - 5.1.2.5. Setul 5 de experimente
 - 5.1.2.6. Setul 6 de experimente
 - 5.1.2.7. Concluzii
 - 5.1.3. Determinarea razei și a locului ocupat de un cilindru folosind un sistem senzorial în infrarosu
 - 5.1.3.1. Experiment A
 - 5.1.3.2. Experiment B

5.1.3.3. Concluzii

5.2. Senzorul ultrasonic Parallax Ping

5.2.1. Experiment cu baleiere cu un obiect cilindric

5.2.1.1. Standul experimental și efectuarea experimentelor

5.2.1.2. Concluzii

5.2.2. Determinarea distanței până la un obiect cilindric.

5.2.2.1. Standul experimental și procedura de lucru

5.2.2.2. Concluzii

5.2.3. Obiect și senzor aflați la diferite distanțe față de suprafața caroiului

5.2.3.1. Standul experimental și efectuarea experimentelor

5.2.3.2. Concluzii

5.2.4. Determinarea unghiului cu care este rotit un obiect de formă dreptunghică

5.2.4.1. Standul experimental și efectuarea experimentelor

5.2.4.2. Concluzii

5.2.5. Determinarea distanței maxime "stânga – dreapta" privind poziționarea unui obiect pentru a nu ieși din sfera de detectare a senzorului ultrasonic

5.2.5.1. Considerente teoretice

5.2.5.2. Concluzii

5.2.6. Experiment cu 2 senzori US și două obiecte plasate echidistant față de cei 2 senzori

5.2.6.1. Considerente teoretice

5.2.6.2. Concluzii

5.2.7. Influența temperaturii asupra detectării obstacolelor

5.2.7.1. Considerente generale

5.2.7.2. Concluzii

5.2.8. Modificarea vitezei presetate în sistemul de comandă

5.2.8.1. Considerente generale

5.2.8.2. Concluzii

5.3. Concluzii finale

6. Analiza teoretică și experimentală a unui robot mobil în scena de lucru

6.1. Generalități

6.2. Robotul mobil utilizat în experimente

6.2.1. Introducere

6.2.2. Structura robotului mobil

6.2.3. Analiza teoretică și experimentală a motorului de acționare integrat în modulele robotului mobil

6.2.3.1. Caracteristici ale motorului de current continuu utilizat

6.2.3.2. Determinări experimentale referitoare la funcționarea micromotorului la mers în gol

6.2.3.3. Determinarea parametrilor funcționali ai micromotorului de current continuu

6.2.3.4. Modulul de tracțiune al robotului mobil

6.2.3.5. Modulul de direcție al robotului mobil

A. Aspecte constructive și funcționale

B. Analiza fazei de pornire – oprire la mecanismul de direcție

6.2.3.6. Modelul matematic al geometriei roților

A. Introducere

B. Modelul cinematic

6.2.3.7. Simulare Matlab

6.2.4. Conducerea robotului față de un obstacol lateral

6.2.4.1. Generalități

6.2.4.2. Descriere experiment

6.2.4.3. Rezultate și prelucrarea datelor

A. Rezultate obținute

B. Prelucrarea statistică a rezultatelor

C. Analiza rezultatelor și concluzii

6.3. Concluzii

7. Concluzii finale și contribuții personale

7.1. Concluzii finale

7.2. Contribuții originale ale tezei

7.3. Diseminarea rezultatelor cercetărilor

7.4. Direcții viitoare de cercetare în domeniu

Bibliografie

Anexe

1. Structura tezei de doctorat

Teza de doctorat este structurată pe 7 capitole la care se adaugă bibliografia și anexele aferente, după cum urmează:

Capitolul 1 - Introducere - descrie domeniul și direcțiile de cercetare în care se încadrează prezenta teză de doctorat. Este evidențiată motivația temei și obiectivul principal al tezei. În finalul capitolului este prezentată structura tezei de doctorat pe capitole și extensia acestora. Capitolul are o extensie de 7 pagini și include 3 figuri și 2 tabele.

Capitolul 2 - Aspectele fizice privind fenomenele ondulatorii și aplicațiile lor în mecatronică - prezintă o sinteză bibliografică referitoare la fenomenele ondulatorii, unde și oscilații. Aceste fenomene fizice stau la baza funcționării senzorilor ultrasonici și în infraroșu. Capitolul are o extensie de 12 pagini și include 11 figuri, 28 relații de calcul și 1 tabel.

Capitolul 3 - Incertitudine și probabilistică - debutează prin definirea aspectelor aleatorii, prezentarea noțiunilor de incertitudine, clasificări / taxonomii. În cadrul capitolului este inserată o sinteză referitoare la informație, date, semnal și incertitudine. Urmează, ca o abordare logică, noțiuni despre teoria probabilităților și posibilistică, variabilă aleatoare, semnal aleator, funcția de repartiție și de densitate de probabilitate, valoare medie, abatere standard, repartiții probabilistice în robotică, repartiția erorilor aleatoare, variabile aleatoare multiple. Capitolul 3 are o extensie de 13 de pagini în care sunt integrate 12 figuri, 17 relații de calcul și 1 tabel.

Capitolul 4 – Senzori și caracteristicile lor de funcționare – explică modul de abordare a procesului de localizare a obstacolelor pe baza senzorilor ultrasonici și în infraroșu. În acest capitol se determină caracteristica directă și caracteristica inversă a senzorilor utilizați pentru experimentele ulterioare. O parte a datelor experimentale au fost incluse în anexele asociate acestui capitol. Capitolul 4 are o extensie de 34 de pagini și include 33 de figuri, 30 relații de calcul și 36 tabele.

Capitolul 5 – Analiza spațiului de lucru pe baza senzorilor cu ultrasunete și în infraroșu – are ca obiectiv operațional studiul experimental al sistemelor senzoriale ultrasonic și, respectiv, în infraroșu pentru localizarea unor obstacole. Sunt prezentate detalii referitoare la modul de constituire a standurilor de lucru. Rezultatele experimentale au fost prelucrate în Microsoft Office Excel și au fost calculați parametrii statistici. Rezultatele experimentale sunt însoțite de concluzii rezultate din prelucrarea datelor experimentale. O parte a datelor experimentale au fost incluse în anexele asociate acestui capitol. Concluziile rezultate în urma experimentelor încheie acest capitol care are o extensie de 35 pagini și include 43 figuri, 31 relații de calcul și 35 tabele.

Capitolul 6 - Analiza teoretică și experimentală a unui robot mobil în scena de lucru - include considerente teoretice și practice referitoare la navigarea unui robot mobil într-o scenă de lucru. Sunt prezentate exemple concrete, simulări și concluzii. În finalul capitolului sunt inserate rezultatele experimentale obținute prin urmărirea comportamentului unui robot într-o scenă de lucru. Capitolul are o extensie de 44 pagini și include 96 relații de calcul, 52 figuri și 9 tabele.

Capitolul 7 – Concluzii finale și contribuții personale - se referă la concluziile ce se desprind în urma activităților desfășurate, trece în revistă contribuțiile personale, diseminarea rezultatelor și recomandările pentru cercetările viitoare.

Bibliografia include o parte din titlurile utilizate pe parcursul elaborării tezei. Bibliografia cuprinde 110 titluri bibliografice.

Anexele includ materiale rezultate și prelucrate în perioada de elaborare a tezei. Aceste materiale au fost utilizate pentru redactarea capitolelor tezei.

2. Contribuții originale ale tezei

În raport cu obiectivul principal al tezei și pe baza conținutului teoretic și experimental din cadrul volumului tezei elaborate, pot fi evidențiate următoarele contribuții personale:

A. Contribuții la cercetarea fundamentală

- Analiza literaturii de specialitate referitoare la filozofia mecatronică;
- Sinteza programului de cercetare în conformitate cu obiectivul principal al tezei și enunțarea obiectivelor operaționale;
- Filozofia mecatronicii, a fizicii fenomenelor acustice și a radiației electromagnetice ca și componentă a integrării sinergice;
- Analiza conceptelor de ignoranță, incertitudine și probabilitate a fenomenelor aleatorii și modul de corelare cu localizarea multisenzorială a unui obstacol;
- Dezvoltarea modelelor matematice ale caracteristicilor directe și inverse pentru senzorii ultrasonici: Parallax Ping și XL-MaxSonar-EZ/AE MB1200 și a senzorului în infraroșu Sharp GP2Y0A02YK;
- Sistematizarea aspectelor de funcționare ale senzorilor ultrasonici și în infraroșu și analiza comparativă între rezultatele teoretice și cele obținute experimental;
- Analiza teoretică a robotului mobil ca structură, identificarea parametrilor necesari modelului matematic al sistemelor de acționare și direcție; simularea funcționării sistemelor acționare și direcție, compararea rezultatelor teoretice cu cele experimentale și enunțarea concluziilor;
- Enunțarea unor criterii privind compararea traiectoriei realizate de un robot mobil în prezența unui obstacol;
- Dezvoltarea proiectului experimental, enunțarea concluziilor și diseminarea rezultatelor cercetării.

B. Contribuții la cercetarea aplicativă

- Realizarea suportului material pentru cercetarea experimentală inițială și integrarea acestuia într-un sistem de achiziție de date;
- Desfășurarea unor activități experimentale vizând comportamentul elementelor senzoriale – ultrasonice și în infraroșu – în procesul aleatoriu de localizare a unui obstacol:
 - diferite distanțe *senzor-obiect*,
 - obstacole de formă geometrică diferită,
 - obstacole cu aceeași formă geometrică, dar de culori diferite,
 - temperaturi de lucru diferite în mediul analizat;
- Desfășurarea unor activități experimentale vizând estimarea unor parametri de situație – poziție și orientare – pentru obstacole din spațiul de lucru al unui robot mobil;
- Desfășurarea unei activități experimentale și de identificare a parametrilor componentelor integrate într-un robot mobil;
- Analiza experimentală a navigării robotului mobil studiat pe o traiectorie impusă și în prezența unui obstacol.

LISTA LUCRĂRILOR

Fiz. Tony STĂNESCU

- [1] **T. Stănescu**, A. Mondoc, V. Dolga, "Random issues in workspace analysis for a mobile robot", ISI Proc. 2014, 10th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, ICNPAA 2014 Congress, Norvegia, Narvik, ISBN: 978-0-7354-1276-7, vol. 1637, Pag. 1254, 2014, 15-18 Iulie 2014.
- [2] **T. Stănescu**, A. Mondoc, V. Dolga, "Probabilistic aspects in mobile robots navigation", 6th International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical engineering and New High-Tech Products Development, (Mecahitech 2014), 4 - 5 Septembrie, București, lucrare aparută în revista Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, ISSN 1584-5982, Editura Cefin, București, România, Nr.45, Pag. 125-130.
- [3] **T. Stănescu**, C. Moldovan, V. Dolga, "Effects of the environment temperature on the characteristic of parallax ping ultrasonic sensor", Robotica & Management, Vol 10, nr. 2, Decembrie 2014. pp. 39-44.
- [4] **T. Stănescu**, B. Enache, D. Savu, L. Sandru, V. Dolga, "theoretical and experimental analysis of steering mechanism of a mobile robot", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 5, Issue 4, New Delhy, India, April 2015 (ISSN 2250 - 2459 (Online)) pag. 597 - 600.
- [5] **T. Stănescu**, L. A. Șandru L, V. Dolga, "Studies regarding detection of obstacles with different geometric shape using parallax ping sensor", IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, (SACI 2015), 21 - 23 Mai 2015, Timisoara, pp. 455-458.
- [6] **T. Stănescu**, D. Savu, V. Dolga, "Rotation angle determination of a rectangular object using an infrared sensorial system", The 24th International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, (RAAD 2015), 27- 29 Mai 2015, Bucuresti.
- [7] **T. Stănescu**, C. Moldovan, V. Dolga, C. Pop, "Object's colour influence on the reflective infrared sensor parameters", 14th World Congress in Mechanism and Machine Science, (IFTToMM 2015), Taipei, Taiwan, 25-30 October, 2015. (*acceptată spre publicare*).