**ANALIZA TEORETICĂ ŞI EXPERIMENTALĂ A ASPECTELOR ALEATORII DIN SCENA DE LUCRU A UNUI ROBOT MOBIL**

**Rezumat**

Teză destinată obţinerii

titlului ştiinţific de doctor inginer

la

Universitatea Politehnica Timişoara

în domeniul Inginerie Mecanică

de către

**Alina MONDOC**

Conducător ştiinţific: prof.univ.dr.ing. Valer DOLGA

Referenţi ştiinţifici: prof.univ.dr.ing. Radu BĂLAN

prof.univ.dr. ing. Radu-Cătălin ȚARCĂ

conf.univ.dr.ing. Corina GRUESCU

Ziua susţinerii tezei: 02.07.2014

Evoluţia în timp a roboţilor mobili a condus atât la variante funcţionale şi constructive cât şi la abordări diverse privind interacţiunea robotului cu un mediu structurat sau nestructurat.

Luarea deciziilor în viaţa obișnuită este inseparabilă de incertitudine. Incertitudinea există şi nu poate fi eliminată. În acelaşi timp se poate afirma că incertitudinea este un termen utilizat pe scară largă în inginerie şi inteligenţa artificială. Totuşi, autorii în aceste domenii de aplicare şi cercetare nu sunt întotdeauna de acord cu privire la sensul noţiunii de incertitudine, la tipurile de clase / categorii , cu privire la posibilele surse, sinonime, la posibile clasificări, pe reprezentări etc. În acest sens o serie de autori se referă la legătura dintre conceptul de incertitudine, imperfecţiune, imprecizie, neclaritate, ambiguitate, ignoranţă, etc. În literatură se identifică o serie de surse posibile ale incertitudinii ce însoţeşte un proces de măsurare:

* descrierea incompletă a testului în condiţiile unor cerinţe insuficient descrise;
* realizarea imperfectă a unei proceduri test;
* cunoaşterea inadecvată a efectelor mediului asupra procesului de măsurare;
* zgomot uman în citirea instrumentelor analogice;
* modificarea caracteristicilor sau a performanţelor instrumentelor de măsurare;
* aproximările şi ipotezele încorporate în metoda şi procedura de măsurare;
* modificări ale observaţiilor datorate mediului – temperatură, umiditate, presiunea aerului – sau alte variabilităţi.

În conexiune cu acest mod de abordare, în domeniul roboticii mobile se pun adesea cel puţin întrebările:

* va funcţiona robotul mobil ? poate să se deplaseze robotul mobil în mediul de lucru nestructurat ?
* va atinge robotul mobil punctul ţintă, dacă senzorii integraţi nu funcţionează în limitele prescrise ?

Navigarea sigură este o condiție elementară, absolut necesară, pentru ca un vehicul autonom / robot mobil să opereze în medii necunoscute. Un robot mobil, care se deplasează în condiții de siguranță într-un mediu, trebuie să beneficieze de capacități esențiale, cum ar fi percepția mediului, o localizare sigură și păstrarea / memorarea corectă a spațiului de lucru.

Navigarea sigură a unui robot mobil este condiţionată de estimarea parametrilor referitori la contactul cu solul, la estimarea corectă cu precizie a situării robotului în spaţiul de lucru. În general, obţinerea informaţiei precise despre poziţia / orientarea unui robot mobil nu este posibilă doar pe baza unei singure surse de informaţie.

Utilizarea doar a informațiilor de la elementele senzoriale interne – odometria – nu este suficientă. Un aspect de interes il prezintă utilizarea informațiilor din mediu obținute cu ajutorul elementelor senzoriale acustice sau / şi optice. Fuziunea informaţiei este regăsită în aplicaţii diverse (pentru agricultură şi minerit).

Abordarea probabilistică, a problemei de localizare a unui robot mobil, este predominantă. Metodele probabilistice Bayse sunt multiple şi propuse într-o serie de lucrări la fel ca şi metodele de filtrare Kalman pentru aplicaţii de estimare a poziţiei robotului în condiţiile unui mediu caracterizat de incertitudine.

O metodologie probabilistică este esențial să ia în considerare incertitudinea referitoare la cinematica robotului mobil dar în acelaşi timp şi informația și comportamentul elementelor senzoriale din structura robotului mobil.

Robotul mobil interacţionează cu mediul său prin acţiuni reciproce (robotul asupra mediului, mediul asupra robotului). Aceste acţiuni solicită foarte mult sistemul locomotor, deoarece acesta este permanent în contact cu mediul, creându-i robotului probleme (erori de deplasare, erori de estimare a distanţei, lipsa capacităţii de adaptare la mediul de lucru).

Una dintre cele mai importante aspecte în domeniul senzorial este comportamentul acestora în procesul de localizare a obiectelor din mediul de lucru al robotului mobil, astfel încât acesta să poată îndeplini sarcinile primite în condiţii de siguranţă şi eficienţă maxime. Modelul probabilistic al procesului aleatoriu de localizare a obstacolelor devine astfel de interes în analiza scenelor de lucru a roboţilor mobili.

Teza de doctorat se extinde pe un număr total de 216 de pagini şi este structurată pe 7 capitole, bibliografie şi anexe. Dintre acestea: un număr de 14 pagini au un caracter conex tezei (pagină alocată pentru copertă, cuprinsul tezei, lista figurilor, lista tabelelor), 158 de pagini sunt alocate textului, 12 pagini sunt alocate bibliografiei iar 32 de pagini sunt destinate anexelor. Teza de doctorat include în cuprinsul său 175 de figuri, 61 de tabele şi 265 de relaţii de calcul.

Obiectivul principal al tezei constă în ***analiza teoretică şi experimentală a aspectelor aleatorii din scena de lucru a unui robot mobil***. Acestui obiectiv îi sunt subordonate un set de obiective specifice, pe care le denumeşte obiective operaţionale şi activităţi de cercetare pe care le asociază capitolelor tezei.

Teza de doctorat a fost structurată în 7 capitole:

Capitolul 1- ***Introducere*** - descrie domeniul şi direcţiile de cercetare în care se încadrează prezenta teză de doctorat. Este evidenţiată motivaţia temei şi obiectivul principal al tezei. Pe baza acestor considerente în cadrul capitolului este inserat parcursul activităţilor stabilite, pentru elaborarea tezei, prin asocierea cu obiectivele operaţionale admise. În finalul capitolului este prezentată structura tezei de doctorat pe capitole şi extensia acestora.

Capitolul 2- ***Robotică şi inspiraţie biomecanică*** - prezintă o sinteză bibliografică referitoare la robotică mobilă ca şi inspiraţie biomecanică. În cadrul capitolului se fac referiri la caracteristicile specifice roboticii mobile – evoluţie şi perspectivă, criterii de clasificare, la modele matematice pentru roboţii mobili cu sustentaţie prin roţi, la navigarea biologică, navigarea roboţilor mobili şi concluzii. Capitolul are o extensie de 19 pagini şi include 14 figuri, 14 relaţii şi 2 tabele. Capitolul scoate în evidenţă puterea de sinteză a autoarei iar sinteza elaborată poate fi considerată ca o contribuţie teoretică a autoarei.

Capitolul 3 - ***Matematica proceselor aleatoare cu aplicaţii în robotică*** – debutează prin definirea aspectelor aleatorii, prezentarea noţiunilor de incertitudine, clasificări / taxonomii. În cadrul capitolului este inserată o sinteză referitoare la informaţie date, semnal şi incertitudine. Urmează, ca o abordare logică, noţiunile despre teoria probabilităţilor şi posibilistică, variabilă aleatoare, semnal aleator, funcţia de repartiţie şi densitate de probabilitate, valoare medie, abatere standard, repartiţii probabilistice în robotică, repartiţia erorilor aleatoare, variabile aleatoare multiple. În cadrul capitolului sunt inserate exemple de interpretare a repartiţiilor probabilistice în robotică, a modului de tratare a variabilelor multiple şi exemplu de calcul a unei valori estimate pe baza informaţiei de la doi senzori diferiţi. Capitolul se încheie prin concluzii. Capitolul 3 are o extensie de 31 de pagini în care sunt integrate 27 de figuri, 91 relaţii de calcul şi 2 tabele.

Capitolul 4 – ***Senzori şi localizarea obstacolelor*** – răspunde tratării unui aspect aleatoriu din mediul de lucru a robotului mobil. Se apelează la două categorii de elemente senzoriale:senzorii ultrasonici şi senzorii în infraroşu. Se trece în revistă aspectele teoretice, se urmăresc surse ale incertitudinilor prin utilizarea senzorilor ultrasonici, modul de utilizare a funcţiilor Bessel pentru simularea propagării undei. În cadrul capitolului se inserează şi sinteza referitoare la senzorul în infraroşu utilizat în structura roboţilor mobili. O fracţiune importantă a acestei sinteze se referă la determinarea caracteristicii directe şi inverse a senzorului Sharp preconizat pentru experimentele ulterioare. Se imaginează un stand experimental, se realizează achiziţiile de date, se prelucrează şi se analizează prin prisma estimării celei mai bune expresii matematice care să fie utilizată pentru exprimarea acestor caracteristici. Capitolul se încheie prin prezentarea principiului de lucru propus şi exemple referitoare la localizarea unor obstacole prin utilizarea celor doi senzori.

Capitolului include atât aspecte de cercetare şi sinteză bibliografică cât şi aspecte de cercetare cu contribuţii personale: conceptul sintezei realizate, apelarea la instrument matematic pentru simularea aspectelor teoretice folosite, îmbinarea cercetării experimentale cu analiza teoretică a soluţiilor, enunţarea principiilor de lucru pe care le intenţionează să le dezvolte în capitolele următoare.

Capitolul 4 are o extensie de 34 de pagini şi include 44 de figuri, 56 relaţii de calcul şi 7 tabele şi se încheie prin concluzii.

Capitolul 5 – ***Robotul mobil în scena de lucru*** - include considerente teoretice şi practice referitoare la navigarea unui robot mobil într-o scenă de lucru. Se abordează astfel un al doilea aspect aleatoriu al scenei de lucru referitor la traiectoria robotului mobil. În mod generalizat, robotul mobil trebuie să parcurgă o anumită traiectorie dintr-un punct START până într-un punct STOP. În acest scop, robotul mobil trebuie să ocolească obstacolele şi să aleagă un parcurs dinamic care să îi asigure succesul. Fiecare variantă care ar fi aleasă poate fi considerată ca un experiment iar rezultatul acestuia să fie asociat cu un eveniment analizat probabilistic.

Se scoate în evidenţă modalităţi de racordare geometrică a unor tronsoane liniare din traiectoria robotului mobil. Se analizează şi modelul matematic al racordării unor tronsoane prin arc de cerc şi a două tronsoane liniare printr-o traiectorie descrisă polinomial. Pornind de la centrul instantaneu de rotaţie, stabilit pentru o traiectorie liniară şi respectiv circulară, se analizează modul de variaţie a doi coeficienţi care iau în considerare tronsoanele traiectoriei şi vitezele de deplasare pe parcursul acestora.

Astfel se realizează simulări sugestive în mediul Matlab / Simulink referitoare la deplasarea robotului pe un arc de cerc sau ca răspuns a sistemului la o comandă dată în prezenţa unei mărimi perturbatoare.

În continuarea capitolului, se apelează la două structuri de robot mobil, aflate în dotarea Laboratorului de Senzori şi Actuatoare a Departamentului de Mecatronică din cadrul Universităţii Politehnica Timişoara, pentru analize experimentale.

Într-un prim experiment, se înregistrează traiectoria unui robot mobil programat să se deplaseze liniar şi la o distanţă constantă în raport cu un perete. Se obţine astfel, în urma prelucrării informaţiilor, un material ce va putea fi folosit pentru modelarea matematică în vederea conducerii robotului mobil pe baza unui regulator fuzzy.

În al doilea set de încercări, s-a urmărit modul în care sistemul senzorial poate fi integrat în structura unui robot mobil, a modului în care acest sistem conlucrează cu sistemul de semnalizare şi cel de acţionare. Experimentele realizate permit să se precizeze că obstacolele de dimensiuni mici pot fi sesizate dar în lipsa unei conlucrări performate cu sistemul de comandă, evenimentul poate să fie considerat doar o simplă eroare de transfer a informaţiilor. Capitolul se încheie prin concluzii.

Capitolul are o extensie de 30 pagini şi include 63 relaţii de calcul, 48 figuri şi 3 tabele. Capitolul 5 prin conţinutul său, aspectele teoretice şi rezultatele experimentale se încadrează într-un capitol cu reale contribuţii teoretice şi de cercetare aplicativă.

Capitolul 6 – ***Incercări experimentale*** – are ca obiectiv operaţional studiul experimental al sistemelor senzoriale ultrasonice şi respectiv în infraroşu pentru localizarea unor obstacole. Se are în vedere că succesul deplasării pe o traiectorie a robotului mobil depinde de localizarea unui obstacol în sensul determinării distanţei până la obstacol şi eventual orientarea acestuia în raport cu robotul mobil. În primul pas, se aduce contribuţia la dezvoltarea unor standuri adecvate în acest sens şi prezintă detalii referitoare la modul de constituire a standurilor de lucru, a matricelor structurale ale experimentelor. În pasul următor, se analizează variante de corpuri geometrice pentru a le asimila cu posibile obstacole.

Astfel se include în cadrul capitolului un volum mare de date referitoare la localizarea unor forme geometrice simple paralelipiped şi cilindru, de dimensiuni diferite şi la distanţe diferite faţă de senzor. Rezultatele obţinute permit să se facă estimări referitoare la probabilitatea ca o zonă geometrică din spaţiul de lucru să conţină un obstacol. Rezultatele, obţinute, permit abordarea în paşii următori activităţilor pentru ridicarea unei hărţi a zonei analizate.

În continuarea experimentelor, se analizează modul de localizare a unui obstacol cilindric pe baza unui sistem senzorial ultrasonic bazat pe doi senzori. Se scoate în evidenţă, prin acest exemplu, avantajul fuzionării informaţiilor de la cei doi senzori.

Printr-un experiment extins, pe obstacole paralelipipedice orientate diferit în scena de lucru şi obstacole de tip colţar, se scoate în evidenţă limitele senzorilor ultrasonici în localizarea obstacolelor. O utilizare de tip scanare pe bază de senzori cu o directivitate îngustă (modelul liniar) este o suluţie.

În finalul capitolului se realizează un experiment în care include un sistem senzorial pe bază de trei senzori în infraroşu. Se urmăreşte localizarea unui ostacol pe baza acestui sistem, în condiţiile în care obstacolul este rotit în jurul unei axe verticale în raport cu planul în care sunt poziţionaţi senzorii. Rezultatele obţinute au scos în evidenţă posibilitatea determinării distanţei şi a unghiului, pe care planul care conţine obstacolul paralelipipedic îl face cu planul elementelor senzoriale, cu parametrii calitativi foarte buni.

O parte a datelor experimentale culese în urma activităţii au fost incluse în Anexele asociate acestui capitol, anexe care totalizează 32 de pagini. Concluziile rezultate în urma experimentelor încheie acest capitol care are o extensie de 34 de pagini şi conţine 41 relaţii de calcul, 37 de figuri şi 44 tabele.

Capitolul 6 este un capitol integral de contribuţie aplicativă.

Capitolul 7 – ***Concluzii finale, contribuţii şi recomandări viitoare*** - se referă la concluziile ce se desprind în urma activităţilor desfăşurate, trece în revistă contribuţiile personale şi recomandările pentru cercetările viitoare. Concluzia esenţială a acestui capitol se referă la faptul că studiile teoretice şi experimentale efectuate, aplicaţiile dezvoltate şi rezultatele obţinute răspund atât obiectivului principal al tezei cât şi obiectivelor specifice menţionate în cadrul primului capitol al tezei.

**Contribuţii personale:**

* **Contribuţii la cercetarea fundamentală**
* Analiza de principiu a robotului mobil ca structură şi activitate, enunţarea obiectivului principal al tezei şi al planului de activităţi
* Sistematizarea şi prezentarea problematicii roboticii mobile în cadrul unui material coerent şi finalizat prin concluzii directoare de cercetare;
* Prezentarea unei analize detaliate a aspectelor aleatorii, prezentarea noţiunilor de incertitudine, clasificări / taxonomii şi modul de corelare cu activităţile robotului mobil;
* Concretizarea repartiţiei probabilistice cu exemple edificatoare pentru procese aleatorii în robotică;
* Exemplificarea metodei de estimare a informaţiei de la doi senzori;
* Sistematizarea aspectelor funcţionale ale senzorilor ultrasonci şi în infraroşu şi identificarea aspectelor aleatorii din cadrul proceselor de măsurare;
* Dezvoltarea modelului matematic al caracteristicii directe şi inverse a unui senzor în infraroşu Sharp;
* Conceptul extins al traiectoriei unui robot mobil şi modul de racordare a tronsoanelor acesteia;
* **Contribuţii la cercetarea aplicativă**
* Realizarea suportului material pentru cercetarea experimentală şi integrarea acestuia într-un sistem de achiziţie a datelor;
* Desfăşurarea unei activităţi experimentale vizând comportamentul elementelor senzoriale: senzorilor ultrasonici şi a senzorilor în infraroşu în procesul aleatoriu de localizare a unui obstacol;
* Analiza probabilistică a proceselor aleatorii din procesul de măsurare şi interpretarea rezultatelor obţinute;
* Dezvoltarea şi implementarea unor programe aplicative pentru prelucrarea datelor experimentale

**Concluzii finale**

Rezultatele teoretice şi practice obţinute corespund obiectivelor propuse şi permit să se considere că obiectivul principal al tezei a fost atins.

Rezultatele obţinute în cadrul acestei teze deschid noi direcţii de cercetare referitoare la analiza scenelor de lucru pentru un robot mobil. Se pot menţiona:

* Extinderea cercetărilor privind capabilitatea de conlucrare a mai multor categorii de senzori pentru localizarea unui obstacol şi fuziunea informaţiiei;
* Dezvoltarea unui model probabilistic al sistemului mecatronic robot mobil prin evaluarea proceselor aleatoare interne ale sistemului şi a celor externe;
* Analiza aspectelor aleatorii pe baza teoriei posibilistice