

Universitatea din Craiova
Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică

TEZĂ DE DOCTORAT

SISTEME DE CONDUCERE A ROBOȚILOR MOBILI COOPERATIVI CU CAMERĂ VIDEO

Doctorand: Ing. Ionuț Gabriel DINULESCU
Conducător științific: Prof. Dr. Univ. Mircea IVĂNESCU

Obiective

Teza tratează sistemele descentralizate de control pentru echipele de roboți mobili, prin propunerea unui sistem software de operare RobOS, care rezolvă problema cooperării între roboți la mai multe niveluri: nivelul senzorial (identificarea roboților și localizarea relativă a acestora), nivelul strategic (planificarea traiectoriilor) și nivelul de comunicare (schimbarea de mesaje între roboți).

Conținutul tezei se axează pe patru direcții principale:

- generarea traiectoriilor pentru roboții mobili;
- reprezentarea formațiilor de roboți mobili;
- conducerea cu ajutorul camerei video a formațiilor de roboți mobili;
- implementarea unui sistem de comunicație ce permite schimbul de mesaje între roboții mobili.

Organizarea tezei

Capitolul I oferă o introducere în domeniul roboților mobili cooperativi, prin prezentarea unor aplicații existente. De asemenea sunt rezumate câteva lucrări reprezentative pentru acest domeniu, studiate de către autor, care evidențiază câteva caracteristici ale diverselor tipuri de cooperare între roboți.

Capitolul II descrie modelul matematic al robotului diferențial și sistemul de control al traiectoriei.

Contribuțiile personale constau în propunerea unor metode de generare a traiectoriei utilizând curbe Bezier. Pentru testarea acestor metode s-a implementat un simulator care utilizează mediul Matlab pentru vizualizarea curbelor generate între două puncte din spațiul de operare.

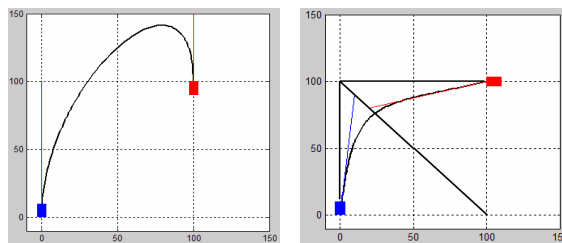


Fig.1 Generarea traiectoriilor cu ajutorul curbelor Bezier.

De asemenea s-a scris software-ul de control al robotului PcBot914 pentru parcurgerea de traiectorii Bezier. Subsistemul de control al robotului este format din cele două nivele *RoboMotion* – responsabil cu planificarea și comanda traiectoriei și *RAL* – *Robot Abstraction Layer* – care realizează efectiv mișcarea prin comanda modulului de control al motoarelor. Structura celor două componente, precum și interacțiunea dintre acestea este prezentată în diagrama UML de mai jos.

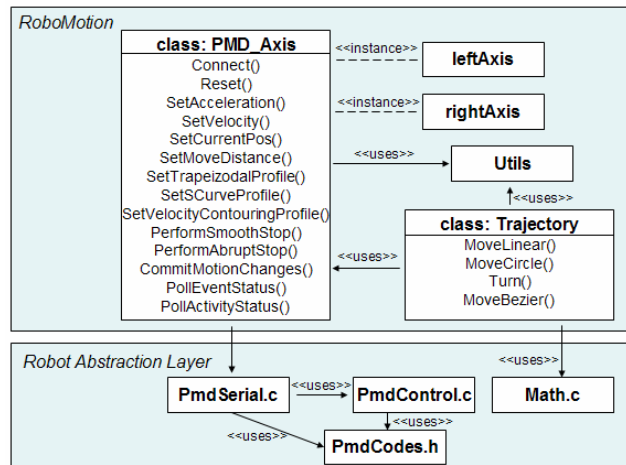


Fig.2 Arhitectura software a sistemului de conducere.

Capitolul III prezintă modalitățile de control a formațiilor de roboți mobili cooperativi.

Se prezintă modalitatea de reprezentare a formațiilor cu ajutorul grafurilor orientate. Se propune o modalitate de reprezentare a formației cu ajutorul centrului de greutate al acesteia și a unei modalități de stabilire a grafului curent al formației.

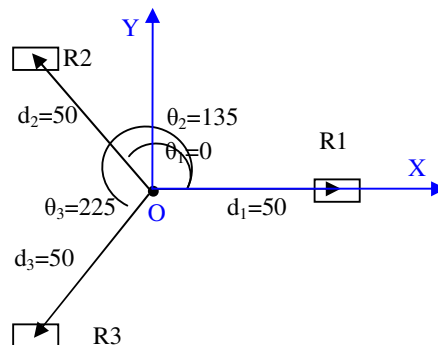


Fig.3 Reprezentarea formației cu ajutorul centrului de greutate

Stabilirea grafului curent al formației se realizează utilizând următorul protocol:

- fiecare robot se rotește în jurul propriei axe până în momentul în care găsește unul sau mai mulți vecini, utilizând senzorii locali.
- pentru fiecare robot găsit:
 - o se calculează distanța și orientarea față de acesta
 - o se adaugă informația corespunzătoare în copia locală a matricii de adiacență
 - o se trimite această informație către ceilalți roboți, care își vor actualiza propriile copii ale matricii de adiacență.

- În momentul în care toți vecinii au fost descoperiți, fiecare robot va trimite un mesaj de sincronizare către ceilalți roboți.
- pentru fiecare mesaj de sincronizare primit, un robot va incrementa un contor.
- atunci când contorul atinge valoarea N , robotul va trece la următoarea etapă.

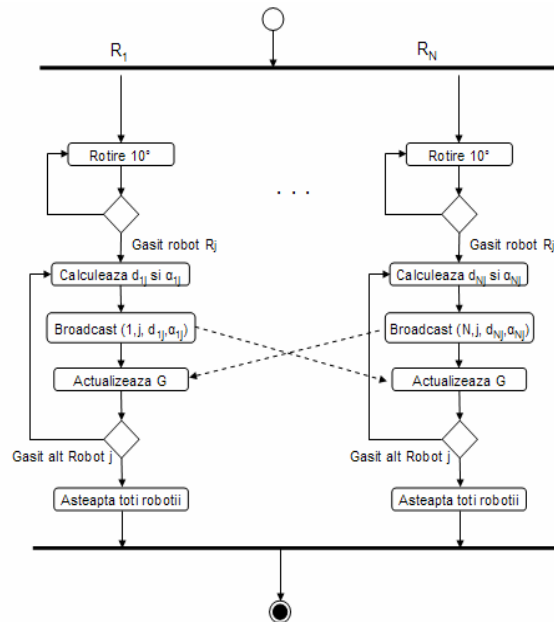


Fig.4 Protocolul de stabilire a grafului curent.

În același capitol se simulează un sistem de generare a traiectoriilor pentru un grup de roboți, utilizând curbe Bezier.

Capitolul IV analizează modalitatea de conducere a formațiilor de roboți mobili utilizând sistemul video local, montat pe fiecare dintre roboți.

Prima parte a capitolului descrie tehnicile de preprocesare a imaginii utilizate în experimentele practice. Se propune un sistem de conducere de tip hibrid, care combină un controller bazat pe imagine (IBVS) și unul bazat pe poziție (PBVS). Se rezolvă astfel situația în care robotul leader iese din imaginea curentă, iar controllerul IBVS nu poate calcula eroarea din planul-imagine.

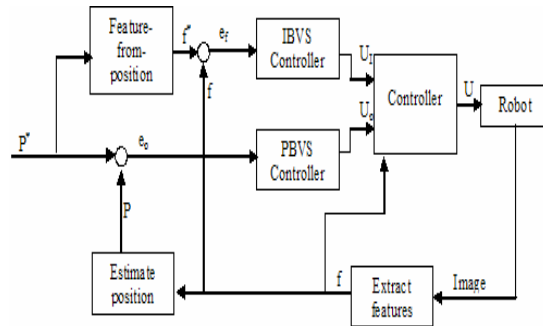


Fig.5 Sistem de conducere hibrid

Se propune o metodă pentru reducerea timpului de procesare a imaginii, prin definirea și estimarea unei regiuni de interes. Soluția propusă este de a prelucra doar acea porțiune a imaginii în care se găsește reperul. Așadar, problema se reduce la determinarea acestei porțiuni a imaginii, cunoscută în literatura de specialitate ca „regiune de interes” (ROI – Region of Interest).

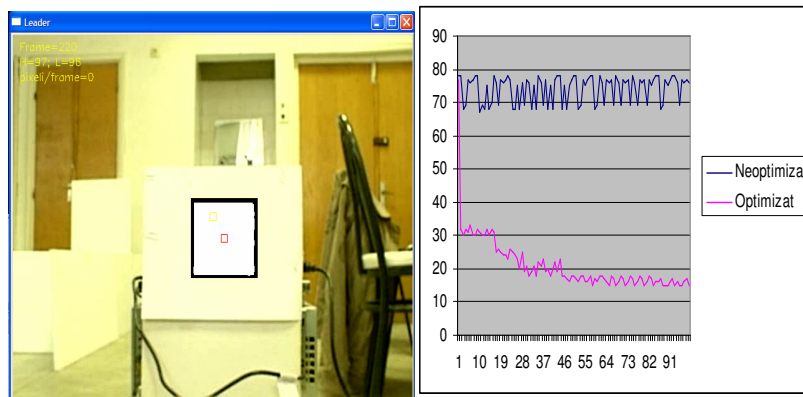


Fig.6 Utilizarea zonei de interes pentru reducerea timpului de procesare al imaginii

În continuare se propune o variantă modificată a transformării Census pentru detecția robotului leader. Transformarea Census ([Zabih R et al., 1994], [Froba et al, 2004]) este o transformare locală, care se bazează pe intensitățile vecinilor cu ajutorul cărora se obține valoarea pixelului central. Bitul k al valorii pixelului central este obținut în urma unei comparații între intensitatea vecinului k și intensitatea pixelului central. Modificarea propusă presupune considerarea unei regiuni de dimensiune 8×8 împărțită în 4 subregiuni. Pentru fiecare subzonă, se calculează suma valorilor pixelilor. Se obțin astfel 4 valori V_1, V_2, V_3, V_4 care sunt comparate cu un prag, rezultând în final un șir de biți $b_1b_2b_3b_4$.

Cu ajutorul acestei transformări se pot detecta colțurile marcajului ce identifică robotul.

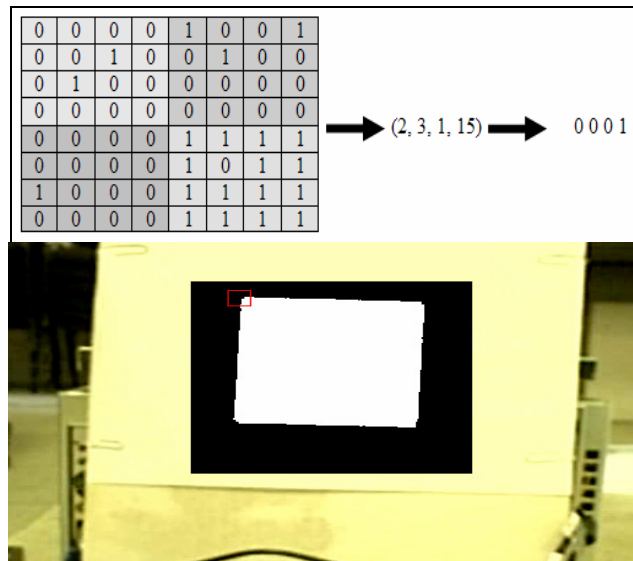


Fig.7 Transformata Census modificată.

Deoarece calculul transformatei Census necesită calcule în plus, precum și parcurgerea întregii vecinătăți a pixelului curent, timpul de prelucrare este mai mare decât în cazul metodei ce folosește mașina de stări. Pentru a micșora acest timp, se variază pasul de parcurgere al întregii imagini. Pentru a evita pierderea unui colț datorită unui pas prea mare, se alege pasul de parcurgere în funcție de valoarea transformării pentru punctul anterior, după anumite reguli. Astfel, în cazul în care vecinătatea punctului curent nu conține o zonă cu valori predominant 1, atunci se mărește pasul de parcurgere. Dacă ne aflăm într-o zonă cu valori predominant 1 (census = 15), atunci ne deplasăm înapoi cu o jumătate de pas, pentru a verifica dacă detectorul a ratat un posibil colț. În al treilea caz (1 până la 3 biți ai valorii census au valoarea 1, atunci alegem pasul 1 pentru o căutare mai fină a colțurilor.

În graficul următor sunt prezentați comparativ timpii de execuție în cazul unei secvențe video pentru soluția cu pas constant și cea cu pas adaptiv. Se observă mărirea substanțială a vitezei de procesare în cazul celei de-a doua soluții.

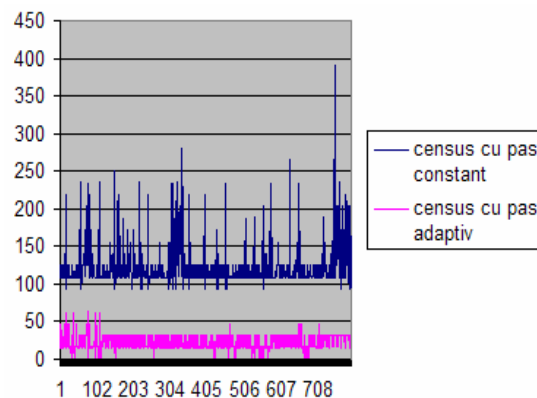


Fig. 8 Reducerea timpului de procesare prin implementarea pasului variabil.

Sistemul de procesare prezentat este implementat pe robotul PcBot914. S-a implementat și un modul de măsurare al performanței algoritmilor din punctul de vedere al vitezei.

În continuare se propune utilizarea metodei câmpului de potențiale pentru alegerea traiectoriei fiecărui robot. În aceasta abordare fiecare robot R_i își calculează propriul câmp de potențial la fiecare pas t . Potențialul minim este atribuit robotului leader $R_{\{Leader(i)\}}$. Valorile de potențial maxim sunt atribuite pozițiilor obstacolelor, cât și celorlalți roboți.

În finalul capitolului se propune un sistem de conducere bazat pe comportament pentru atașarea la o formație și controlul descentralizat al acesteia, care imită comportamentul peștilor.

Capitolul V propune utilizarea standardului IEEE 802.15.4 pentru implementarea unui sistem de comunicație descentralizat între roboții mobili. A fost proiectat și implementat un sistem de comunicație pentru roboții mobili, bazat pe noua tehnologie IEEE 802.15.4 – un protocol radio cu consum redus de energie, destinat rețelelor de senzori. Sistemul de comunicație implementat permite comunicarea între oricare doi roboți prin posibilitatea de utilizare a unor roboți intermediari pentru rutare a mesajelor.

Este propusă o variantă îmbunătățită a algoritmului C-Skip pentru rutarea arborescentă, care permite regăsirea nodurilor după ce acestea sunt reconectate la rețea. Soluția propusă este de a asigna fiecărui nod o adresă compusă din două câmpuri:

- un câmp A_{CS} care conține adresa generată cu ajutorul algoritmului C-Skip;
- un al doilea câmp A_{ID} care conține o adresă generată aleator, ce identifică în mod unic nodul în cadrul rețelei.

În momentul în care prima adresă se schimbă datorită reconectării nodului la un alt ruter, acel nod poate fi încă identificat utilizând adresa A_{ID} . Aceasta permite regăsirea destinației de către nodul care trimite pachetul, după ce acesta s-a reconectat la rețea. După relocalizarea nodului, comunicația se poate desfășura utilizând adresa A_{CS} prin protocolul C-Skip.

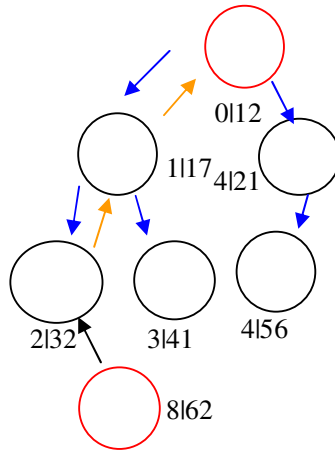


Fig. 10 Asignarea adreselor utilizând protocolul CSkip modificat.

Contribuții

Sunt propuse noi metode de generare a traiectoriilor utilizând curbe Bezier. Pentru testarea lor, s-a scris un simulator în Matlab, ce permite specificarea punctului inițial și a celui final, precum și adăugarea de obstacole.

S-a propus o metodă nouă de descriere a unei formații de roboți, utilizând distanțele și orientările față de centrul de greutate a formației. Această metodă poate fi extinsă prin considerarea drept referință a oricărui punct din spațiul de operare.

S-a scris un simulator în Matlab pentru generarea traiectoriilor, pentru deplasarea unei formații de roboți și pentru schimbarea configurației acesteia.

A fost proiectat un algoritm de inițiere a unei formații de roboți mobili bazat pe schimbul de mesaje între roboți.

A fost scris software-ul de comandă pentru robotul PC-Bot914, care permite schimbarea vitezelor unghiulare ale roților în timpul deplasării, permițând urmărirea unor traiectorii complexe.

S-a implementat un simulator pentru faza de preprocesare a imaginilor și extragere a caracteristicilor. Acesta permite simularea fiecărei etape a procesării imaginii, și măsurarea timpului de prelucrare a algoritmilor implementați. Totodată, structura sa permite adăugarea ușoară de noi algoritmi.

A fost proiectat un sistem de conducere pentru o echipă de roboți mobili, de tip Leader-Follower, care utilizează un sistem de vedere artificială de tip hibrid. Pentru testarea acestui sistem de control s-a implementat un simulator în mediul MatLab.

S-a propus o variantă modificată a transformatei Census pentru detecția robotului Leader.

A fost scris software-ul care permite robotului PC-Bot914 să urmărească o țintă în mișcare. Este propusă și implementată o metodă de reducere a timpului de procesare a imaginii prin estimarea regiunii de interes.

A fost propus un sistem de conducere bazat pe comportament pentru atașarea la o formație și controlul descentralizat al acesteia, care imită comportamentul bancurilor de pești.

S-a scris un simulator cu ajutorul căruia se pot analiza traiectoriile robotilor mobili cooperativi utilizând metoda campului de potențiale.

A fost proiectat și implementat un sistem de comunicație pentru roboții mobili, bazat pe noua tehnologie IEEE 802.15.4 – un protocol radio cu consum redus de energie, destinat rețelelor de senzori.

Sistemul de comunicare implementat permite comunicarea între oricare doi roboti prin posibilitatea de utilizare a unor roboți intermediari pentru rutarea mesajelor.

Este propusă o variantă îmbunătățită a algoritmului C-Skip pentru rutarea arborescentă, care permite regăsirea nodurilor după ce acestea sunt reconectate la rețea.