



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00357**

(22) Data de depozit: **08.05.2014**

(41) Data publicării cererii:
30.09.2014 BOPI nr. 9/2014

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN
TIMIȘOARA, PIAȚA VICTORIEI NR.2,
TIMIȘOARA, TM, RO

(72) Inventatori:
• MICEA MIHAI-VICTOR, STR. ODOBESCU
NR. 22, TIMIȘOARA, TM, RO;

• STANCOVICI ANDREI,
STR. COSTACHE NEGRUZZI NR. 5,
TIMIȘOARA, TM, RO;
• CREȚU VLADIMIR IOAN,
BD. REVOLUȚIEI NR. 22, AP. 18,
TIMIȘOARA, TM, RO

(74) Mandatar:
CABINET DE PROPRIETATE INDUSTRIALĂ
TUDOR ICLĂNZAN,
PIAȚA VICTORIEI NR.5, SC.D, AP.2,
TIMIȘOARA

(54) SISTEM ȘI METODĂ PENTRU ORIENTARE ȘI LOCALIZARE RELATIVĂ A UNOR SUBSISTEME AUTONOME

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem și la o metodă pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome în raport cu un sistem comun de coordonate. Sistemul conform invenției este alcătuit dintr-un set de subsisteme autonome, dotate, fiecare, cu câte un dispozitiv hardware pentru orientare și localizare, și care comunică prin unde electromagnetice și unde mecanice, și dintr-un nod central cu rolul de a centraliza coordonatele, care poate fi un echipament cu poziție fixă, sau un sistem prestabilit. Metoda conform invenției constă într-o primă etapă, de localizare a subsistemelor pe baza predicției de mobilitate, o a doua etapă, de localizare prin procesare distribuită și cooperare cu subsistemele din vecinătatea proprie, și o a treia etapă, de centralizare a coordonatelor și gestionare a mobilității subsistemelor, în vederea păstrării coeficientului de acuratețe a localizării la valori ridicate.

Revendicări: 11
Figuri: 8

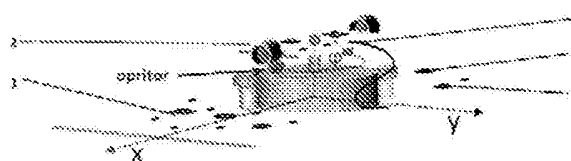


Fig. 2



SISTEM ȘI METODĂ PENTRU ORIENTARE ȘI LOCALIZARE RELATIVĂ A UNOR SUBSISTEME AUTONOME

Prezenta invenție se referă la sisteme compuse din mai multe subsisteme distincte autonome care pot avea capabilități de mobilitate și, în particular, la orientarea și localizarea subsistemelor autonome, definită ca procesul de estimare a poziției și orientării curente a subsistemelor în raport cu un sistem comun de coordonate, prin metode specifice de cooperare și prin utilizarea unui set de dispozitive specifice de comunicații, senzori și achiziții de date. Exemple de sisteme compuse vizate de prezenta invenție includ sisteme de roboți mobili autonomi, de senzori inteligenți, combinații ale acestora. Alte domenii de aplicare ar putea fi cel al monitorizării radioactive, explorarea apelor pentru studiul creaturilor marine, produse casnice, cum ar fi roboți aspirator multipli, sisteme de pază robotizate.

În domeniul orientării și localizării relative a subsistemelor, există diferite soluții tehnice, în diferite stadii de dezvoltare, care materializează concepte pentru diverse aplicații.

Este cunoscută invenția US19990449177 care folosește ca și abordare de localizare, recunoașterea reperelor pasive. Pe baza acestei proceduri se creează o harta de navigare. Prin recunoașterea anumitor forme elementare sau mai complexe se poate deduce locația. Dezavantajul acestei rezolvări este timpul de initializare a sistemului deoarece este necesară construirea hărții. Tot un dezavantaj îl reprezintă costurile ridicate a dispozitivelor de recunoaștere a reperelor pasive. În anumite situații reperi pasive sunt greu de recunoscut din cauza materialului sau a formei geometrice. Această rezolvare este avantajoasă atunci când harta a fost creată, iar mediul rămâne același.

Este cunoscută invenția US2010023195 care folosește o soluție tehnică de localizare recunoașterea reperelor active fixe. Abordarea din soluția tehnică este des întâlnită în literatura de specialitate, iar soluțiile diferă în funcție de tipul reperelor active folosite. Dezavantajul este comun în toate cazurile și anume funcționalitatea sistemului este redusă la mediul în care reperi active fixe sunt preinstalate. Această abordare este avantajoasă atunci când sistemul este creat pentru un anumit tip de aplicație în care mediul rămâne același.

Soluțiile tehnice care folosesc abordarea localizării având la baza reperi active mobile sunt mai puțin întâlnite din cauza erorilor de localizare care se acumulează odată cu mobilitatea sistemului. Pentru această abordare este necesară o acuratețe mai bună a dispozitivului de localizare și de asemenea o metodologie consistentă. Avantajul sistemelor de localizare bazate pe reperi mobile este aceea că acestea oferă posibilitatea de a acoperi o plajă mai largă de aplicații cu subsisteme colaborative, aplicații mai complexe de explorare acolo unde localizarea bazată pe reperi fixe nu poate fi aplicată. În literatura de specialitate, sunt descrise mai multe dispozitive care pot oferi o localizare relativă raportată la un grup de subsisteme, iar aceste dispozitive diferă prin construcție și pot fi clasificate în funcție de tehnologia folosită.

Se cunoaște de asemenea invenția US2013344892 în care undele electromagnetice (de exemplu semnale radio) sunt utilizate în obținerea poziției, dar pentru că propagarea este omnidirecțională, căile de propagare sunt complexe și viteza de propagare este prea mare, locul exact de unde încep ele să se propage nu poate fi determinat cu o acuratețe bună.

Este cunoscută invenția US2014104594 în care este utilizat laserul care are un spectru foarte îngust, LIDAR.

Este cunoscută de asemenea invenția KR20120046974 în care tehnologiile utilizate în localizarea subsistemelor sunt bazate pe video camere omnidirecționale. Dezavantajul lor este costul prohibitiv pentru multe categorii de aplicații. Undele mecanice (de exemplu semnalele ultrasonice) se propagă la un raport de viteză de 10^{-6} ori mai lent decât undele electromagnetice, ceea ce avantajează măsurarea timpului de propagare a semnalului (TOF), prin urmare, coordonatele de origine ale datelor comunicate pot fi determinate cu o acuratețe bună la un cost redus al dispozitivului de cooperare.

În literatură, se prezintă mai multe dispozitive bazate pe unde mecanice și acestea pot fi structurate în funcție de numărul senzorilor folosiți și poziționarea acestora.

a) Module cu un emițător de ultrasunete și un set de mai multe receptoare;

În [6] și [7] este descris un operator - sonar pentru distanțe mari, cu un traductor compus central omnidirecțional, care emite un impuls sonar în toate direcțiile și opt receptoare ultrasonice montate în cerc, la 45 de grade una față de altă, acoperind astfel 360 de grade. Un dezavantaj al acestor module hardware este faptul că emițătorul nu este tipic; un traductor compus este greu de găsit pe piață senzorilor. De asemenea, pentru achiziția de semnale, se utilizează 8 canale ADC, fiind astfel necesare 8 amplificatoare, câte unul pentru fiecare canal, ceea ce duce la creșterea suplimentară a costului. Un multiplexor analogic poate fi folosit, dar partea de achiziție devine mai complexă.

În [8] se arată că unghiul de aliniere este unul dintre factorii care influențează TOF. În acest caz, opt receptoare nu sunt o acoperire consistentă pentru o mai mare precizie pentru localizarea pe distanțe mai mari.

b) Module cu doar un traductor și un con acustic reflector;

În [9] este prezentat un modul compus dintr-un traductor ultrasonic cu două funcții: emițător și receptor. Traductorul este poziționat (îndreptat) drept în sus și toate undele ultrasonice de intrare și ieșire sunt reflectate de un con acustic reflector. Pe de o parte însă nu se discută deloc despre atenuarea semnalelor ultrasonice folosind un con acustic reflector, nu se știe dacă există pierderi de propagare datorate reflecției. Dacă intensitatea fasciculului este mai mică după reflecție atunci distanța maximă de propagare este mai mică. De asemenea, este foarte dificil să se mențină identic unghiul de incidență pentru fasciculul reflectat prin conul acustic

reflector, pentru toate modulele, deoarece conurile au o anumită toleranță de producție. O altă problema constă în faptul că obstacolele nu pot fi identificate în mod corect. Există și situația interferențelor distructive: la anumite distanțe între subsisteme, undele propagate în calea directă interferează distructiv cu undele care se reflectă de podea sau obstacole.

c) Module cu un emițător de ultrasunete și două receptoare;

Sistemele de localizare bazate pe achiziție stereo cu ultrasunete sunt discutate frecvent în literatura de specialitate. În [10] se discuta despre poziția unghiulară a unui robot mobil în raport cu o sursă de ultrasunete cunoscută. În lucrarea extinsă [11], fiecare robot este echipat cu un transmițător ultrasonic și două receptoare. Metoda folosită se bazează pe măsurarea diferenței de fază între cele două receptoare ultrasonice și măsurare TOF. Măsurarea diferenței de fază este mai precisă decât măsurarea TOF datorită rezoluției mai mari [12]. Și în cazul acestor abordări există o serie de probleme importante. Intervalul maxim de măsurare folosind metoda diferenței de fază este limitat la o perioadă de semnal, de exemplu 25 μ s pentru frecvența de 40 kHz, care este echivalent cu 8 mm. Metodă diferenței de fază este utilizată pentru determinarea poziției unghiulare cu acuratețe mare, dar cu mai multe constrângeri.

d) Alte module ultrasonic;

În [13] este prezentată o turelă cu trei traductoare că o placă de extensie pentru robotul Khepera [14]. Utilizarea acestei extensii favorizează detectarea diferitelor tipuri de obiecte. Distanța maximă pentru detectarea obiectelor este de 20 de centimetri. Acest modul nu este conceput pentru comunicarea cu alți roboți, dar este interesant faptul că semnalul de ultrasunete este utilizat pentru a îmbunătăți achiziția undelor infraroșii de pe robotul Khepera. Alte probleme legate de senzorul infraroșu se datorează faptului că unele materiale nu reflectă lumina infraroșie (de exemplu, panou de sticlă, folia de hârtie) [15].

SpiderBat [16] este un modul cu patru emițătoare ultrasonice și patru receptoare care sunt montate alternativ într-un cerc. Abordarea utilizată pentru măsurarea distanței se bazează pe diferența de timp de sosire (TDOA), similar cu Cricket [17], dar cu o ameliorare: transmisia de ultrasunete este pornită la un interval de timp fix (20ms), după ce procedura este inițiată de către nodul expeditor. În acest interval de timp fix (20ms), nodul expeditor comunică timpul de transmisie prin trimiterea unui pachet radio. În acest fel nodul receptor poate stabili exact când transmisia cu ultrasunete a fost efectuată cu ajutorul unui algoritm de sincronizare de timp expeditor - receptor [18]. După momentul de detectare cu ultrasunete, nodul receptor poate stabili distanță mai precis decât sistemul de localizare Cricket. Prin urmare, prin executarea unui protocol de sincronizare de timp dedicat, în sistem se introduce o eroare de măsurare a distanței de numai 1,4 mm, în cel mai rău caz. Deviația standard a erorii este de 0,31 mm pentru măsurători de până la 1 m și 5,39 mm pentru distanțe între 1m și 14m. Cu patru receptoare poziționate în cruce, SpiderBat poate măsura unghiul de sosire, folosind informații de la maxim

trei receptoare atunci când este posibil, dacă nu, de la doar două. Eroarea medie măsurată este mai mică de 5° pentru distanțe scurte.

Există multe alte soluții tehnice semnalate în literatura de specialitate, utilizate în aplicații cu sisteme de roboți mobili autonomi, care combină unele dintre tehnologiile menționate mai sus. De exemplu, în [19] și [20], sistemul prezentat este format din mai multe module cu doar un traductor și un con acustic reflector așa cum au fost prezentate mai sus. Modulele cu prea mulți senzori și actuatori sunt prea complexe și costisitoare.

Problema pe care o rezolva invenția este aceea de a realiza un sistem tehnic și o metodă mai simplă pentru orientarea și localizarea unui set de subsisteme autonome și colaborative, atât în spații închise, cât și deschise, fără a avea nevoie de instalarea prealabilă a unor repere fixe, eliminând interferențele distructive sau erorile de măsurare cauzate de atenuarea undelor mecanice prin unghiul de incidență prea mare la recepționare în sisteme.

Sistemul și metoda pentru orientarea și localizarea relativă a unor subsisteme autonome conform invenției înlătură dezavantajele de mai sus prin aceea că în scopul orientării și localizării relative a unui set de subsisteme autonome, situate în spații închise sau deschise, a estimării poziției și orientării curente a subsistemelor în raport cu un sistem comun de coordonate, utilizează un sistem format din :

a) un set de subsisteme autonome care sunt dotate cu câte un dispozitiv hardware pentru orientare și localizare simplu și care comunică utilizând atât unde electromagnetice cât și unde mecanice,

b) un nod central cu rolul de a centraliza coordonatele, care poate fi un echipament cu poziție fixă, sau un subsistem prestabilit, sau oricare din subsistemele setului colaborativ,

c) o metodă de orientare și localizare bazată pe tehnici și reguli de mobilitate cu rolul de a păstra superior coeficientul de acuratețe a localizării.

Metoda propusă se referă la trei niveluri de localizare. Primul nivel constă în localizarea subsistemelor pe baza predicției de mobilitate. La acest nivel fiecare subsistem se auto-localizează în funcție de resursele proprii de mobilitate și navigare, prin procesare locală. Al doilea nivel cuprinde o clasă de tehnici și reguli prin care un subsistem se localizează prin procesare distribuită și cooperare cu subsistemele din vecinătatea proprie, limitat de distanța maximă de cooperare. Al treilea nivel are la bază un nod coordonator ca și centralizator de coordonate, putând fi în același timp și nod de monitorizare și comandă. Rolul coordonatorului este de a gestiona mobilitatea subsistemelor astfel încât să păstreze coeficientul de acuratețe a localizării la valori ridicate.

Sistemul și metoda conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- 1) aplicabilitate fără a necesita sisteme de orientare și localizare cu reper fix;

- 2) aplicabilitate acolo unde nu există repere pasive sau sunt foarte greu de recunoscut;
- 3) aplicabilitate atât pentru spații închise, cât și pentru spații deschise;
- 4) poate fi mutat în alt mediu fără a fi nevoie de o preinstalare;
- 5) se bazează pe un număr redus de senzori în raport cu alte soluții din domeniu;
- 6) este mai simplu în raport cu sistemele similare cunoscute;
- 7) permit calculul distanței între subsistemele autonome, eliminând timpii imprecizabili proveniți din comunicarea datelor prin unde electromagnetice și fără a necesita sincronizarea bazelor de timp ale subsistemelor;
- 8) elimina problema interferențelor distructive;
- 9) elimina problema erorii de măsurare cauzate de atenuarea undelor mecanice prin unghiul de incidență prea mare la recepționare;
- 10) are acuratețe bună de localizare;
- 11) metoda folosită nu limitează numărul subsistemelor;
- 12) sistemul este eficient energetic, eterogen, tolerant la defecte și reconfigurabil.

Se da în continuare, un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile care reprezintă:

Fig.1. Sistem robotic format din mai multe subsisteme;

Fig.2. Dispozitiv de orientare și localizare;

Fig.3. Unghiul de vizibilitate de 240^0 al traductorilor ultrasonici de pe modulul de percepție;

Fig.4. Schem bloc a dispozitivului de orientare și localizare;

Fig.5. Prima pânză construită în system;

Fig.6. Directivitatea undelor mecanice;

Fig.7. Schema procesului de calcul al distanței;

Fig.8. Sistemul global de referință xOy.

Se dă în continuare un exemplu de realizarea a invenției care se bazează pe următoarele concepte tehnice.

Pentru a menține o comunicare de date între subsistemele autonome, se folosesc undele electromagnetice (de exemplu semnalele radio). Undele mecanice (de exemplu semnalele ultrasonice) sunt folosite pentru a determina distanța dintre două subsisteme, iar pentru a obține poziția se aplică metoda invenției propusă bazată pe o abordare geometrică.

Pentru a calcula distanța dintre două subsisteme este nevoie de o directivitate corespunzătoare a senzorilor cu care sunt echipate subsistemele autonome. Pentru aceasta, se definește noțiunea de aliniere ca și o procedură ce o precede pe cea de calcul a distanței. Prin aliniere înțelegem ajustarea senzorilor a două subsisteme, implicați în procedura de determinare a distanței, astfel încât să fie orientați pe direcția ce unește subsistemele.

Pentru a realiza procedura de aliniere, dispozitivul propus, denumit în continuare turelă, este echipat cu un motor pas cu pas. Motorul are dimensiuni reduse și un cuplu minim suficient pentru a putea să rotească de exemplu un circuit cu doi senzori ultrasonici poziționați la un unghi de 180 de grade unul față de celălalt. Cei doi senzori pot avea rol atât de transmisie cât și de recepție. Pentru ca să poată fi operabil și pentru distanțe mai mari, circuitul este prevăzut la transmisie cu o componentă ridicătoare de tensiune variabilă și, la recepție, cu un amplificator cu factor de amplificare variabil.

Numărul senzorilor este ales astfel încât prin rotație, dispozitivul să poată avea o vizibilitate omnidirecțională, eliminându-se problema limitării rotației din cauza firelor de legătură între turelă și modulul de control al turelei. Pentru a garanta alinierea oricăror două subsisteme, un singur senzor are o rotație mai mare de 180 de grade.

Procedura de aliniere constă în cooperarea a două subsisteme prin interfețele de comunicare fără fir, bazate pe unde electromagnetice, pentru a permite celor două subsisteme să schimbe comenzile necesare și se bazează pe măsurarea continuă a intensității undelor mecanice. Două subsisteme care execută procedura de aliniere au funcții diferite, unul dintre subsisteme este transmițător de semnal mecanic, iar celălalt este receptor.

Două subsisteme se pot alinia pe baza directivității undelor mecanice prin două metode:

- în timp ce două subsisteme rotesc o turelă de la o limită la altă, repetat, cu viteze diferite, subsistemul receptor calculează puterea semnalului mecanic care se propagă de la subsistemul transmițător;
- în timp ce primul subsistem rotește turela, al doilea subsistem menține turela la un anumit unghi. Pentru fiecare rotație a turelei primului subsistem, de la o limita la alta, turela celui

de-al doilea subsistem incrementează unghiul cu un pas dat de intervalul de directivitate de formă conică a senzorului de semnal mecanic.

Tehnica propusă pentru calculul distanței este concepută în așa fel încât timpii impredictibili proveniți din comunicarea datelor prin unde electromagnetice, să nu influențeze rezultatul de calcul al timpului de propagare a undei mecanice. De asemenea, nu este nevoie să se sincronizeze bazele de timp ale subsistemelor.

Oricare două subsisteme care au efectuat procedura de aliniere pot calcula apoi distanța aplicând tehnica specifică propusă. Ca și în cazul procedurii de aliniere și în cazul calculului distanței subsistemele au funcții diferite, unul dintre subsisteme este transmițător de semnal mecanic, iar celălalt este receptor. Tehnica de calcul a distanței se bazează pe tehnica TOF (Time of Flight), dar este compusă, în sensul că rolurile de transmițător și receptor se schimbă. Primul subsistem activează un cronometru și transmite un semnal mecanic care se propagă în direcția celui de-al doilea. Al doilea subsistem recepționează semnalul mecanic și identifică vârful maxim (de exemplu, prin metodă cros-corelației). Cel de-al doilea subsistem așteaptă un timp prestabilit după care devine transmițător, iar primul subsistem devine receptor. Al doilea subsistem transmite semnalul mecanic, iar primul recepționează și determina vârful semnalului. După ce recepționează semnalul mecanic, primul subsistem oprește cronometrul pentru a deduce timpul total de propagare, de unde scade timpul prestabilit de așteptare. Astfel primul subsistem obține de două ori timpul de propagare a semnalului mecanic între cele două subsisteme. Asemănător cu tehnica TOF, distanța este obținută pe baza timpului de propagare a semnalului, dar este luată în considerare și temperatura ambientală pentru a compensa calculul distanței.

Primul rol al nodului coordonator este de a inițializa sistemul. Considerăm un sistem compus din n subsisteme, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ fiecare subsistem poate comunica prin semnale mecanice la o distanță d sau prin unde electromagnetice la o distanță r . Există două tipuri de subsisteme: necunoscute și stabilite. În cazul subsistemelor necunoscute, orientarea și localizarea acestora nu sunt determinate. Scopul principal al sistemului de localizare este de a determina orientarea și localizarea pentru fiecare subsistem necunoscut, transformându-l astfel într-un subsistem stabilit.

Pentru fiecare subsistem, se definește câte o zona verde, ca fiind aria dată de raza d și limitată de obstacole sau alte elemente de mediu, în care este posibilă comunicarea prin semnale mecanice. Zona galbenă se definește ca fiind aria dată de rază r , în care este posibilă comunicarea prin semnale electromagnetice. Aria exterioară zonei galbene se definește ca fiind zona roșie. Conform cu aceste trei tipuri de zone, fiecare subsistem își gestionează un set propriu de liste. În lista verde se vor include toate celelalte subsisteme aflate în zona verde a subsistemului respectiv. În mod similar, lista galbenă conține subsistemele din zona galbenă, iar lista roșie conține subsistemele care au părăsit atât zona verde cât și pe cea galbenă.

Adăugarea subsistemelor în lista verde se face pe baza procedurii de aliniere. Un subsistem încearcă să se alinieze cu toate subsistemele din lista galbenă, eliminând din start pe cele care sunt evident limitate de distanță prea mare, obstacole sau alte elemente din mediu și adaugă în lista verde acele subsisteme cu care reușește să se alinieze.

Fiecare subsistem s_i are o pereche de coordonate, $(x_i, y_i) \in R^2$. Coordonatele pot fi raportate la un sistem de referință global, comun pentru tot setul de subsisteme autonome, sau la unul local, al subsistemului s_i . De aceea, pentru n subsisteme, se vor putea utiliza în total $n + 1$ sisteme de referință. Sistemul global de referință se notează cu xOy și este stabilit la initializarea setului de subsisteme autonome. Nodul coordonator înregistrează toate coordonatele în raport cu axele globale de referință. Pentru fiecare subsistem s_j stabilit, axa locală de referință Ox_i este paralelă cu axa globală de referință Ox_i . Pentru fiecare subsistem necunoscut, axa locală de referință Ox_i este suprapusă peste propria direcție de deplasare (orientare).

Un subsistem necunoscut se poate localiza față de un subsistem stabilit pe baza metodei triangulației. Conform metodei triangulației se cunoaște unghiul și distanță între subsistemul necunoscut și sistemul stabilit de unde se deduce poziția subsistemului necunoscut.

Un subsistem necunoscut se poate localiza față de două subsisteme stabilite pe baza metodei trilaterăției. Conform metodei trilaterăției se cunosc distanțele dintre subsistemul necunoscut și subsistemele stabilite de unde se deduce poziția subsistemului necunoscut.

Se definește o proprietate specială pentru localizarea subsistemelor, denumită confiență de localizare, $\xi \in \mathbb{N}$. Toate subsistemele necunoscute au o valoare minimă asociată acestei proprietăți. Subsistemul care se află în origine la momentul stabilirii sistemului global de referință xOy , are confiență maximă.

Pentru a menține cât mai ridicată confiența sistemului, localizarea subsistemelor necunoscute se realizează cu ajutorul pânzelor. O pânză este formată din cel puțin două subsisteme stabilite. Locul de conservare a pânzei se poate modifica prin mobilitatea pânzei. Ruta de mobilitate a unei pânze, densitatea pânzelor și numărul acestora sunt stabilite în funcție de aplicație, de nodul coordonator (dinamic – prin managementul mobilității) sau de utilizator (static – la configurarea sistemului). Pentru a menține valoarea de confiență cât mai ridicată, o pânză își poate schimba poziția cu ajutorul altei pânze. Astfel ia naștere procedura de împletire. Pentru a schimba și a stabili un alt loc de conservare al pânzei, zicem că o pânză se împletește cu o altă pânză. Prin împletire se înțelege că o pânză rămâne în repaos când cealaltă pânză își modifică poziția. Pentru a păstra superior coeficientul de acuratețe a localizării, numărul de împletiri trebuie să fie cât mai mic. Toate subsistemele care fac parte dintr-o pânză poartă denumirea de subsisteme sateliți, iar funcția lor este de a localiza celelalte subsisteme. Celelalte subsisteme care au alte funcții în sistem pot să își reîmprospăteze poziția relativă cu ajutorul subsistemelor sateliți. Dacă un nod necunoscut are mai mulți sateliți în lista verde, pentru a se localiza va folosi ca și reper sateliții cu confiență mai mare.

Față de dispozitivele de localizare existente, dispozitivul invenției are un număr redus de senzori, dar este prevăzut cu o ținută care direcționează senzorii în mod corespunzător, eliminând problema interferențelor distructive sau a erorilor de măsurare cauzate de atenuarea undelor mecanice prin unghiul de incidență prea mare la recepționare. Metoda invenției se bazează pe tehnici și reguli de mobilitate cu rolul de a păstra coeficientul de acuratețe a localizării la valori ridicate.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției într-o aplicație ce are ca scop supravegherea imobilelor cu un sistem colaborativ de roboți. Va fi luat un exemplu de un imobil cu 4 încăperi. Suprafețele camerelor sunt date în continuare: C1 – 20m², C2 – 54m², C3 – 50m², C4 – 54m². Presupunem că utilizatorul dorește o monitorizare în intervalul orar 20:00 – 06:00 în care sistemul să fie activ, iar în intervalul 06:00 – 20:00 sistemul să devină inactiv, chiar mai mult, să nu mai fie prezent. Utilizatorul dorește să monitorizeze câte două obiecte în fiecare cameră (Figura 1).

Resurse necesare

Este nevoie de un sistem robotic format din mai multe subsisteme (Figura 1). Fiecare subsistem este un robot mobil echipat cu mai multe module dintre care și un modul de percepție.

Dispozitivul de orientare și localizare (Figura 2), este compus dintr-o unitate de procesare 1, un modul de percepție echipat cu două traductoare ultrasonice 2 montate spate în spate la 180° pe o ținută 3, un driver pentru controlul ținutei 4, un senzor de temperatură 5. Fiecare traductor 2 are un interval de directivitate de formă conică de aproximativ 50 de grade și poate să emită sau să recepționeze semnale ultrasonice la frecvența de 40 KHz. Traductoarele ultrasonice sunt direcționate de ținută pentru a obține orientarea și poziția robotului în procesul de navigare. Prin rotirea ținutei, fiecare traductor poate acoperi un unghi de vizibilitate de 240 de grade (Figura 3).

Schema bloc a dispozitivului de orientare și localizare este prezentată în Figura 4. Procesorul folosit este TMS320F28016 (Texas Instruments), utilizat pentru rapiditate, achiziție periodică de date și procesare. Două traductoare similare sunt utilizate atât pentru transmiterea și pentru recepționarea semnalelor ultrasonice. Senzorul BPU-1640IOAH12 (Bestar Electronics) a fost selectat, datorită caracteristicilor sale convenabile, care includ costuri reduse, operare bidirecțională, frecvența nominală de 40 kHz și tensiune maximă de intrare de 120 Vpp. Partea de comutare la nivelul traductor (operație bidirecțională), a fost implementată cu ajutorul circuitelor MOSFET Si4894DY.

Aplicarea metodei. Stabilirea sistemului global de referință.

Sistemul global de referință xOy este stabilit de roboții r_1 și r_2 conform poziționării acestora de către utilizator. Orientarea robotului r_1 este aceeași cu orientarea robotului r_2 , iar orientarea acestora indică axa Ox . Robotul r_1 este și nodul coordonator al sistemului.

Construirea pânzelor

Pentru a localiza celelalte subsisteme din sistem este nevoie de cel puțin o pânză. Astfel pânza p_1 formată din roboții r_1 și r_2 este prima pânză construită în sistem (figura 5). Pânza p_1 este poziționată în camera C1 de către utilizator. Utilizatorul stabilește camerele care vor fi monitorizate. Utilizatorul antrenează sistemul prin plasarea manuală a pânzelor pentru ca sistemul să devină funcțional sau în cazul

aplicațiilor de navigare, roboții se antrenează autonom pentru a poziționa optim pânzele astfel încât sistemul să devină funcțional. Plasarea pânzei p2 presupune un alt mediu (camera C2). Pentru a trece coordonatele dintr-un mediu în altul, ar trebui extinsă pânza p1, temporar, cu cel puțin 2 roboți: r3 și r4, poziționați în C1, la limita trecerii din mediul C1 în mediul C2, iar o altă pânză ajutătoare p3 formată din roboții r7 și r8 va fi formată în C2, la limita trecerii din mediul C2 în mediul C1. Astfel, la momentul t1 pânza p3 se localizează având ca și reper pânza p1.

Pentru că sistemul de localizare să opereze și în mediul C3, este poziționată o altă pânză ajutătoare p4 formată din r9 și r10 la limita trecerii din mediul C2 în mediul C3. La momentul t3, pânza p4 se va localiza având ca și reper pânza p3 deoarece sateliții din p3 au confiență mai mare față de sateliții din p2. Pașii se parcurg în mod asemănător (conform figurii 5), până va fi localizată și pânza p3 în camera C3 și în mod similar pentru pânza p4 din camera C4.

După cum se observă în figura 5, pentru a menține confiența sistemului de localizare cât mai ridicată, distanțele de împletire trebuie minimizate și, de asemenea, trebuie minimizat numărul de împletiri. Astfel, în cazul unei aplicații de navigare, regulile de mobilitate a pânzelor se pot face pe baza teoriei grafurilor ponderate în care nodurile reprezintă toate pozițiile pe care le poate lua o pânză într-un mediu astfel încât metodologia de localizare să fie aplicabilă, iar poziția dorită, dată de managementul mobilității, să fie drumul cel mai scurt dintre nodul din originea sistemului și nodul țintă.

Procedura de aliniere

Înainte de a calcula distanța dintre două subsisteme, acestea vor efectua în prealabil procedura de aliniere, care se bazează pe directivitatea undelor mecanice (Figura 6). În timp ce cele două subsisteme își rotesc turela cu viteze diferite, cu un raport între 1/2 și 1/3 (stabilit la inițializarea sistemului, în așa fel încât performanța procedurii de aliniere să fie optimă), subsistemul receptor determină puterea semnalului mecanic care se propagă de la subsistemul transmițător. Tureleile celor două subsisteme se pot roti în aceeași direcție sau în direcții opuse. La inițializarea sistemului, sensul de rotație este ales aleatoriu, iar apoi se stabilește după fiecare ciclu de interpretare a datelor (semnalelor recepționate). Pentru fiecare perioadă a semnalului mecanic, se determină valoarea maximă recepționată iar apoi, pentru fiecare pas întreg de rotație a motorului pas cu pas, se obține puterea semnalului mecanic prin filtrarea maximelor obținute. Dacă se simte creșterea puterii semnalului față de pasul de rotație anterior, se va continua rotirea până va fi întâlnită o scădere a puterii semnalului. Apoi, turelele celor două subsisteme vor schimba direcțiile de rotație pentru a reveni la poziția anterioară. Un caz special este considerat atunci când turelele celor două subsisteme sunt deja aliniate înainte de începerea procedurii de aliniere. În acest caz, se simte de la început o scădere a puterii semnalului recepționat și se vor modifica direcțiile de rotație a turelelor pentru a găsi din nou maximul. Deciziile care se iau în urmă interpretării datelor sunt următoarele: sensul de rotație, viteză de rotație, inversarea rolurilor de transmițător și receptor, stabilirea granițelor de căutare a puterii semnalului (rotația

este redusă la un interval mai restrâns), schimbarea amplitudinii semnalului generat la transmisie, schimbarea factorului de amplificare la recepție și în final decizia de a opri procedura de aliniere.

Calculul distanțelor

În cele ce urmează va fi prezentat modul de calcul a distanței (Figura 7). Primul subsistem, S-1, care inițial are rol de transmițător, transmite mesajul START prin semnal electromagnetic către al doilea subsistem, S2. Subsistemul S2 răspunde tot prin semnal electromagnetic cu mesajul SIG REQ și, simultan, lansează procesul de achiziție pentru semnal mecanic. Ca și răspuns la mesajul SIG REQ, S1 activează procesul de transmisie a semnalului mecanic către S2 și activează un timer prin care măsoară timpul total de derulare a procedurii de calcul a distanței, Δt . În momentul detectării la recepție a semnalului mecanic, S2 activează un timer cu o valoare predefinită δM , cu o durată suficient de mare astfel încât să cuprindă recepționarea întregului semnal mecanic transmis de către S1. După intervalul de timp δM , S2 transmite mesajul START S2 prin semnal electromagnetic către subsistemul S1 și activează un al doilea timer, de valoare predefinită δE , suficient de mare pentru a acoperi durata de recepție a semnalului electromagnetic (se ia în considerare cea mai defavorabilă situație pentru întârzierea provenită de la protocolul modulului de comunicare). După ce recepționează semnalul electromagnetic, S1 activează taskul de recepție al semnalului mecanic. La expirarea timpului δE , S2 transmite semnal mecanic către S1. În final, după ce recepționează semnalul mecanic de la S2, subsistemul S1 oprește timer-ul prin care determina durata Δt . Că și rezultat, intervalul Δt conține două valori predefinite δM și δE și dublul timpului de propagare a semnalului mecanic între S1 și S2.

Bazat pe acest timp de propagare, distanța poate fi exprimată astfel:

$$d = c (\Delta t - \delta M - \delta E) / 2$$

Unde c este viteza unde mecanice prin mediul în cauza.

Obținerea coordonatelor.

Notăm cu θ_i unghiul care translatează sistemul local de referință x_iO_i al subsistemului i , la sistemul global de referință xOy (figura 8). Astfel, orientarea subsistemelor în raport cu axa globală de referință Ox este dată de unghiul θ_i .

Considerăm două subsisteme i și j . Notăm cu α_{ij} unghiul dintre dreapta de orientare a subsistemului i și dreapta care unește cele două subsisteme, i și j .

Pentru a determina unghiul θ_j în funcție de θ_i se consideră ecuația de mai jos:

$$\theta_j = (\alpha_{ij} - \alpha_{ji} + \theta_i + 180^\circ) \pmod{360^\circ}$$

De asemenea, vom notă cu θ_{ij} unghiul dintre axa de referință Ox proiectată în punctul i și dreapta care unește cele două subsisteme, i și j .

Unghiul β_{ij} se obține aplicând formulă de mai jos:

$$\beta_{ij} = (\alpha_{ij} + \theta_{ij}) \pmod{360^\circ}$$

Folosim metodă triangulației pentru a localiza subsistemul necunoscut j în raport cu originea axei locale de coordonate a subsistemului i , dacă i este un subsistem necunoscut, sau, în raport cu originea axei globale de referință dacă i este un subsistem stabilit. Astfel locația subsistemului j se obține cunoscând distanța d_{ij} și unghiul β_{ij} astfel:

$$\begin{cases} I \begin{cases} x_j = x_i + d_{ij} \cos \beta_{ij} \\ y_j = y_i + d_{ij} \sin \beta_{ij} \end{cases}, \beta_{ij} \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right) \\ II \begin{cases} x_j = x_i - d_{ij} \cos(\pi - \beta_{ij}) \\ y_j = y_i + d_{ij} \sin(\pi - \beta_{ij}) \end{cases}, \beta_{ij} \in \left[\frac{\pi}{2}, \pi\right) \\ III \begin{cases} x_j = x_i - d_{ij} \cos(\beta_{ij} - \pi) \\ y_j = y_i - d_{ij} \sin(\beta_{ij} - \pi) \end{cases}, \beta_{ij} \in \left[\pi, \frac{3\pi}{2}\right) \\ IV \begin{cases} x_j = x_i + d_{ij} \cos(2\pi - \beta_{ij}) \\ y_j = y_i - d_{ij} \sin(2\pi - \beta_{ij}) \end{cases}, \beta_{ij} \in \left[\frac{3\pi}{2}, 2\pi\right) \end{cases}$$

Folosim metoda trilateralației pentru a localiza subsistemul necunoscut k în raport cu alte două subsisteme stabilite i și j . Astfel locația subsistemului k se obține cunoscând distanțele d_{ik}, d_{jk} și coordonatele subsistemelor i și j astfel:

$$y_k = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Unde,

$$x_k = \frac{s + y_k(y_i - y_j)}{(x_j - x_i)}$$

$$\begin{cases} a = \frac{(y_i - y_j)^2}{(x_j - x_i)^2} + 1 \\ b = \frac{2(s - x_j)(y_i - y_j)}{x_j - x_i} - 2y_j \\ c = (s - x_j)^2 + y_j^2 - d_{jk}^2 \end{cases}$$

și

$$s = \frac{d_{ik}^2 - d_{jk}^2 + x_j^2 + y_j^2 - x_i^2 - y_i^2}{2(x_j - x_i)}$$

După cum se observă, se obțin două locații simetrice față de dreapta ce unește subsistemele i și j . Soluția corectă este poziția mai apropiată de cea obținută prin metoda triangulației, ce are o singură soluție dar cu confiență mai mică.

Modul inactiv

În modul inactiv (06:00 – 20:00) sistemul se va retrage în camera C1. Retragera se realizează prin tehnica de creare a unui șir de subsisteme, pe baza urmăririi subsistemului predecesor din șir. Roboții r_1 și r_2 rămân noduri stabilite și în modul inactiv.

Modul activ

În modul activ (20:00 – 06:00) sistemul, fiind deja antrenat, se va regrupa autonom conform metodei.

Există multe domenii în care invenția poate fi aplicată. Putem menționa aici medii radioactive de monitorizare, explorarea apelor pentru a studia creaturile marine, aparate robotice inteligente ca de exemplu aspiratoare colaborative, sistem de pază robotizat, sistem pentru prinderea rozătoarelor și așa mai departe. Aplicațiile în care poate fi folosită metoda propusă pot fi grupate în două categorii: aplicații în care punctele de conservare (pânzele de localizare) sunt stabilite static de către utilizator, cum ar fi de exemplu un sistem de pază și supraveghere într-o clădire, sau aplicații în care punctele de conservare pot fi stabilite dinamic prin managementul mobilității, cum sunt de exemplu aplicațiile de explorare.

Robotics, InTech, April 2008.

- [14] F. Mondada, E. Franzi și A. Guignard, „The Development of Khepera,” în *Experiments with the Mini-Robot Khepera, Proceedings of the First International Khepera Workshop*, Paderborn, 1999.
- [15] F. Montes-Gonzalez, J. Velasquez-Matus, F. Aldana-Franco și R. Palacios, „The Development of an Ultrasonic Turret Extension for the Khepera Robot to Avoid Legged Object,” în *Introduction to Modern Robotics*, iConcept Press, 2013.
- [16] G. Oberholzer, P. Sommer și R. Wattenhofer, „SpiderBat: Augmenting wireless sensor networks with distance and angle information,” în *Information Processing in Sensor Networks (IPSN), 2011 10th International Conference on*, Chicago, IL, 12-14 April 2011.
- [17] N. Priyantha, „The Cricket Indoor Location System,” Ph.D. Thesis, Dept. of Electrical Eng. and Comput. Sci., Massachusetts Institute of Technology, USA, Jun 2005.
- [18] B. Kusy, P. Dutta, P. Levis, M. Maroti, A. Ledeczi și D. Culler, „Elapsed Time on Arrival: A simple and versatile primitive for canonical time synchronization services,” *Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput.*, vol. 1, nr. 4, pp. 239-251, 2006.
- [19] F. Rivard, J. Bisson, F. Michaud și D. Letourneau, „Ultrasonic relative positioning for multi-robot systems,” în *Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on*, Pasadena, CA, 19-23 May 2008.
- [20] P. M. Maxim, S. Hettiarachchi, W. M. Spears, D. F. Spears, J. Hamann, T. Kunkel și C. Speiser, „Trilateration localization for multi-robot teams,” în *in Proceedings of the Sixth International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Special Session on MultiAgent Robotic Systems (ICINCO'08)*, Funchal, Madeira - Portugal, 2008.

Bibliografie

- [1] US19990449177
- [2] US2010023195
- [3] US2013344892
- [4] US2014104594
- [5] KR20120046974
- [6] L. Navarro-Serment, R. Grabowski, C. Paredis și P. Khosla, „Millibots.” *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, vol. 9, nr. 4, pp. 31 - 40, Dec 2002.
- [7] H. Brown, J. Vande Weche, C. Bererton și P. Khosla, „Millibot trains for enhanced mobility,” *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on*, vol. 7, nr. 4, pp. 452 - 461, Dec. 2002.
- [8] F. Franceschini, D. Maisano, L. Mastrogiacomo și B. Pralio, „Ultrasound Transducers for Large-Scale Metrology: A Performance Analysis for Their Use by the MScMS,” *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 59, nr. 1, pp. 110 - 121, Jan. 2010.
- [9] R. Tinos, L. Navarro-Serment și C. Peredis, „Fault tolerant localization for teams of distributed robots,” în *Intelligent Robots and Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE/RSJ International Conference on*, Maui, HI, 2001.
- [10] S. Shoval și J. Borenstein, „Measurement of Angular Position of a Mobile Robot Using Ultrasonic Sensors,” în *ANS Conference on Robotics and Remote Systems*, Pittsburgh, PA, April 1999.
- [11] S. Shoval și J. Borenstein, „Measuring The Relative Position And Orientation Between Two Mobile Robots With Binaural Sonar,” în *ANS 9th International Topical Meeting on Robotics and Remote Systems*, Seattle, Washington, March 2001.
- [12] F. Figueroa și E. Barbieri, „An ultrasonic ranging system for structural vibration measurements,” *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 40, nr. 4, pp. 764 - 769, Aug 1991.
- [13] F. Montes-Gonzalez, D. Flandes-Eusebio și L. Pellegrin-Zazueta, „Action Selection and Obstacle Avoidance using Ultrasonic and Infrared Sensors,” în *Frontiers in Evolutionary*

Revendicări

1. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome, caracterizat prin aceea că este alcătuit din:

a) un set de subsisteme autonome care sunt dotate cu câte un dispozitiv hardware pentru orientare și localizare simplu și care comunică utilizând atât unde electromagnetice cât și unde mecanice,

b) un nod central cu rolul de a centraliza coordonatele, care poate fi un echipament cu poziție fixă, sau un subsistem prestabilit, sau oricare din subsistemele setului colaborativ.

2. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că este alcătuit din cel puțin două subsisteme autonome (sateliți) care au o poziție cunoscută în sistem, care pot să formeze pânze de conservare a locației în diferite zone a mediului și care pot să schimbe în mod autonom locul de conservare al pânzei pe baza unor reguli de mobilitate, păstrând un nivel superior pentru confiența de localizare.

3. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că poate fi alcătuit și din alte subsisteme autonome cu poziție necunoscută, care se pot localiza în raport cu sateliții sistemului.

4. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că fiecare subsistem este echipat cu câte un dispozitiv de orientare și localizare compus dintr-un modul de percepție care transmite și recepționează semnale mecanice, pe baza unui număr de senzori ales optim din punct de vedere al costurilor și al performanței, astfel încât printr-o rotație până la un unghi limită, dispozitivul poate avea o vizibilitate omnidirecțională pentru a putea opera și pe distanțe mai mari, dispozitivul fiind prevăzut cu o ridicătoare de tensiune variabilă la transmisie și un amplificator cu factor de amplificare variabil la recepție.

5. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 4 caracterizat prin aceea că este alcătuit dintr-un dispozitiv de orientare și localizare, compus dintr-o unitate de procesare (1), un modul de percepție echipat cu două traductoare ultrasonice (2) montate spate în spate la 180° pe o turelă (3), un driver pentru controlul turelei (4), un senzor de temperatură (5), fiecare traductor (2) având un interval de directivitate de formă conică de 50 de grade și putând să emită sau să recepționeze semnale ultrasonice la frecvența de 40 KHz.

6. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome caracterizat prin aceea că folosește o metodă aplicabilă și implementată pe trei niveluri:

- primul nivel constă în localizarea subsistemelor pe baza predicției de mobilitate, la acest nivel fiecare subsistem se auto-localizează în funcție de resursele proprii de mobilitate și navigare prin procesare locală,

- al doilea nivel cuprinde o clasă de tehnici și reguli prin care un subsistem se localizează prin procesare distribuită și cooperare cu subsistemele din vecinătatea proprie, limitat de distanța maximă de cooperare,
 - al treilea nivel are la bază un nod central cu rolul de a centraliza coordonatele și a gestiona mobilitatea subsistemelor astfel încât să păstreze superior coeficientul de acuratețe a localizării, nodul central putând fi un echipament cu poziție fixă, sau un subsistem prestabilit, sau oricare din subsistemele setului colaborativ.
7. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 6 caracterizat prin aceea că două dispozitive de orientare și localizare se pot alinia pe baza directivității undelor mecanice prin două metode:
- în timp ce două subsisteme rotesc turela de la o limită la alta, repetat, cu viteze diferite, subsistemul receptor calculează puterea semnalului mecanic care se propagă de la subsistemul transmițător,
 - în timp ce primul subsistem rotește turela, al doilea subsistem menține turela la un anumit unghi pentru fiecare rotație a turelei primului subsistem, de la o limită la alta, turela celui de-al doilea subsistem incrementează unghiul cu un pas dat de intervalul de directivitate de formă conică a senzorului de semnal mecanic.
8. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 6 caracterizat prin aceea că deciziile care se pot lua în urma interpretării datelor sunt următoarele: sensul de rotație, viteza de rotație, inversarea rolurilor de transmițător și receptor, stabilirea granițelor de căutare a puterii semnalului (rotația este redusă la un interval mai restrâns), schimbarea amplitudinii semnalului generat la transmisie, schimbarea factorului de amplificare la recepție și în final decizia de a opri procedura de aliniere.
8. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 6 caracterizat prin aceea că două dispozitive pot calcula distanța aplicând tehnica de calcul propusă, ca și în cazul procedurii de aliniere, și în cazul calculului distanței subsistemele au funcții diferite, unul dintre subsisteme este transmițător de semnal mecanic, iar celălalt este receptor.
10. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 6 caracterizat prin aceea că operează cu două modalități de antrenare a sistemului pentru stabilirea pânzelor de localizare:
- antrenare manuală a sistemului prin plasarea manuală a pânzelor,
 - antrenare autonomă prin reguli de mobilitate pentru a poziționa optim pânzele astfel încât sistemul de localizare să devină funcțional.
11. Sistem pentru orientare și localizare relativă a unor subsisteme autonome conform revendicării 6 caracterizat prin aceea că operează cu reguli de mobilitate a pânzelor care se fac pe



baza teoriei grafurilor ponderate în care nodurile reprezintă toate pozițiile pe care le poate lua o pânză într-un mediu astfel încât metoda de localizare să fie aplicabilă, iar poziția dorită dată de managementul mobilității reprezintă drumul cel mai scurt de la nodul din originea sistemului până la nodul țintă.

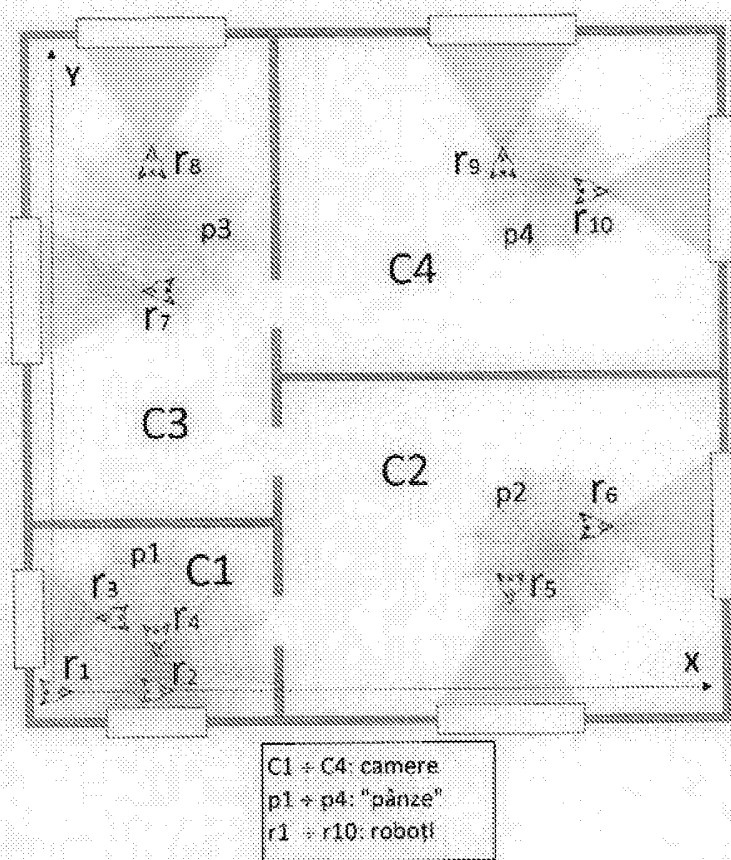


Fig. 1

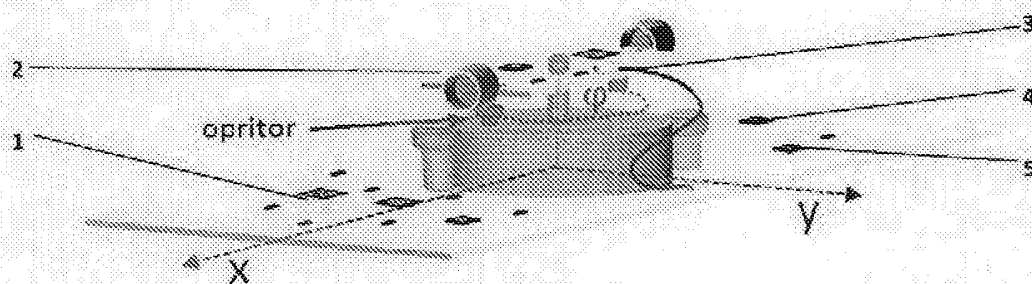


Fig. 2

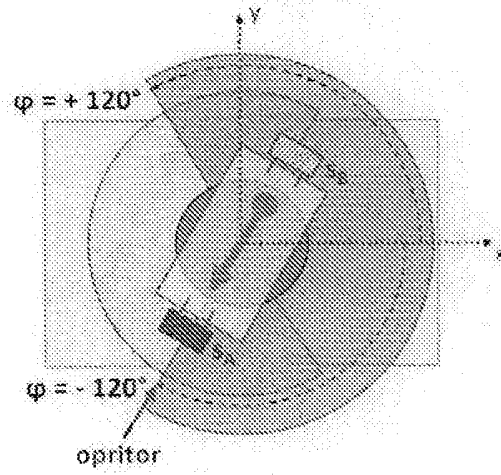


Fig. 3

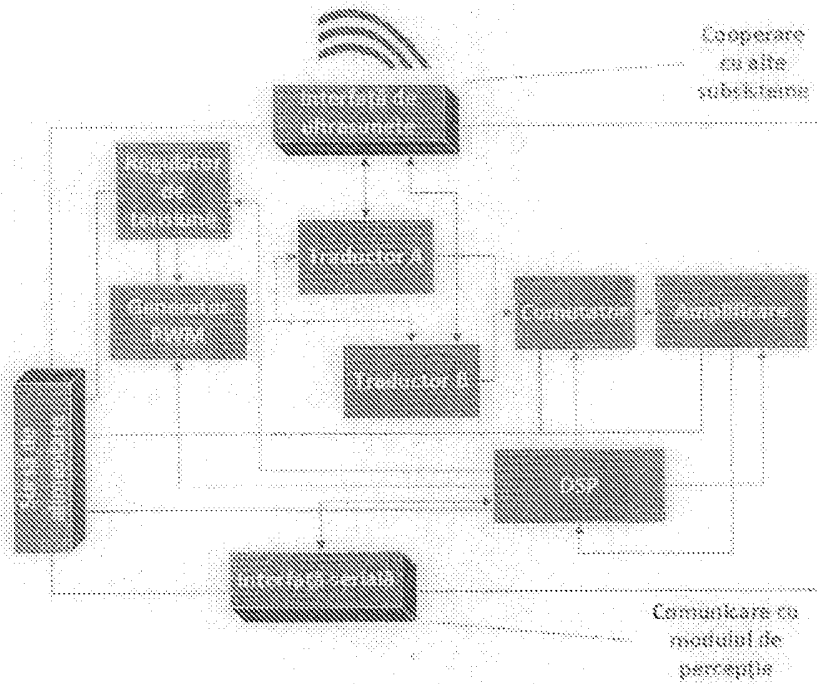


Fig. 4

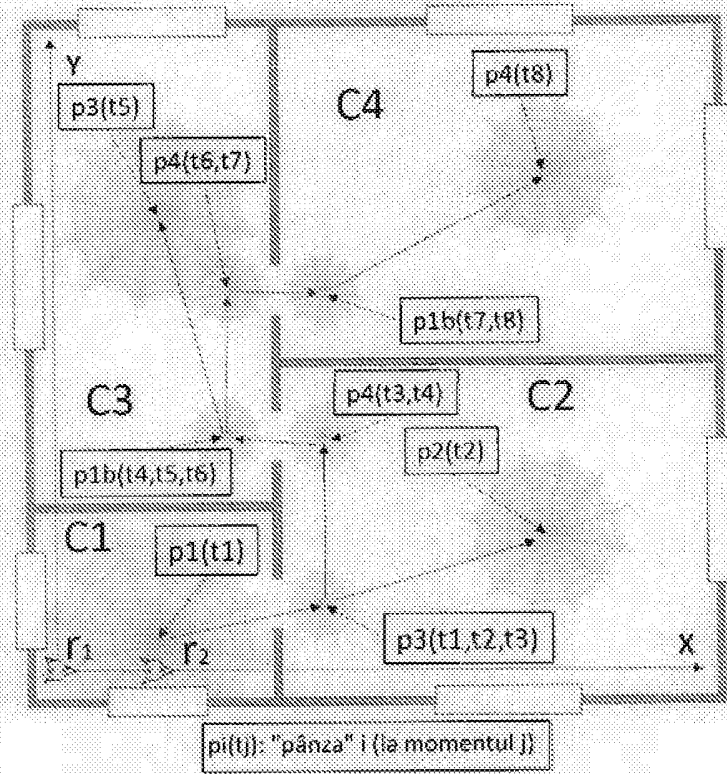


Fig. 5

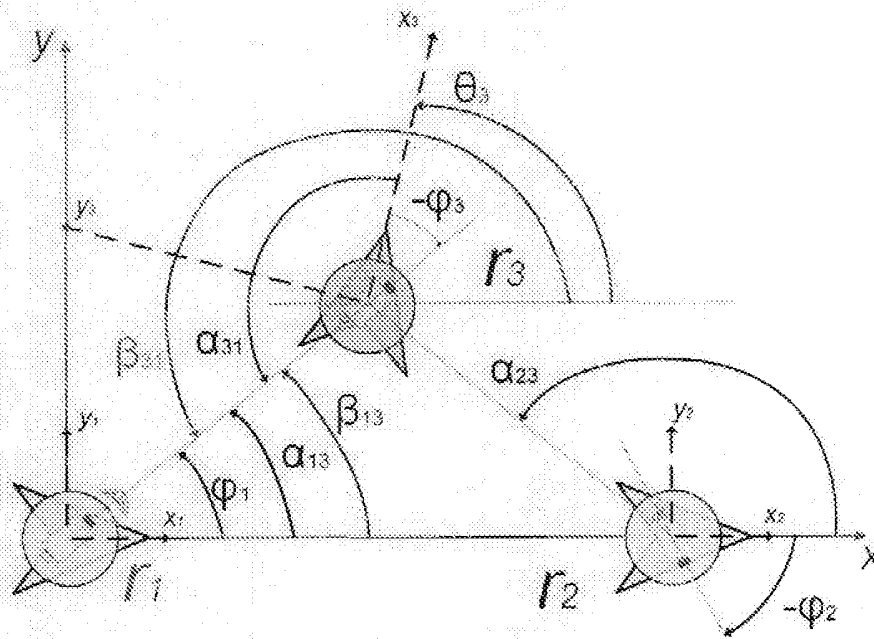


Fig. 8