



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2011 00132

(22) Data de depozit: 15.02.2011

(41) Data publicării cererii:
30.01.2012 BOPI nr. 1/2012

(71) Solicitant:
• OLARU DAN, BD. LIBERTĂȚII NR. 18
BL. 104 AP. 33 SECTOR 5, BUCUREȘTI, B,
RO;
• OANCEA CONSTANTIN DANIEL,
ȘOS. PANDURI NR. 1, BL. P33, AP. 39,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• OLARU DAN, BD. LIBERTĂȚII NR. 18,
BL. 104, AP.33, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B,
RO;
• OANCEA CONSTANTIN DANIEL,
ȘOS. PANDURI NR. 1, BL. P33, AP. 39,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(54) SISTEM PENTRU LOCALIZAREA SURSELOR DE SEMNAL
ACUSTIC

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem și la un procedeu de calcul pentru localizarea unei surse de semnal acustic. Sistemul conform invenției este alcătuit dintr-o rețea de senzori, un bloc de achiziție semnale și un sistem de calcul prevăzut cu un algoritm pentru prelucrarea semnalelor în vederea evaluării distanței și direcției unei surse de zgomot. Algoritmul folosit consideră cunoscute coordonatele senzorilor și distanțele dintre aceștia, în sinteză fiind cunoscute $(a, b; a_1, b_1; a_2, b_2)$, și modul de determinare a razelor ($R1$ și $R2$) cercurilor ($C1$ și $C2$). Într-o primă etapă se determină coordonatele $(x, y; x_1, y_1; x_2, y_2)$ și raza (R) cercului (C) tangent cercurilor ($C1$ și $C2$), care trece prin punctul de coordonate (a, b) , iar într-o a doua etapă se generează o funcție vectorială f , care depinde atât de coordonatele inițiale, cât și de datele evaluate în prima etapă, localizarea sursei de sunet bazându-se pe anularea funcției vectoriale f .

Revendicări: 6
Figuri: 7

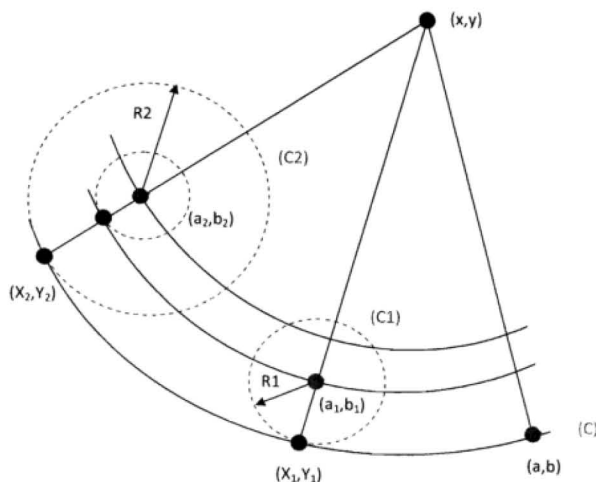
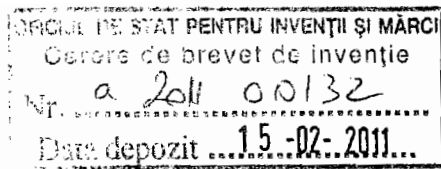


Fig. 5





Prezenta invenție tratează determinarea și implementarea unui procedeu de calcul pentru localizarea unei surse de semnal acustic. Poziția acesteia este descrisă de punctul de coordonate (x,y). Acestea vor fi determinate prin rezolvarea unui sistem de ecuații neliniare. Modul de generare a ecuațiilor face obiectul prezentei invenții. Datele de intrare sunt reprezentate de momentele de timp în care frontul de undă ajunge succesiv de la un senzor la altul și de pozițiile senzorilor.

Pentru medii deschise (spații largi) reflexiile care pot apare sunt neglijabile în comparație cu unda principală. În această situație, semnalul poate filtrat, dacă este cazul cu ajutorul unui filtru nepretențios. Dacă sistemul de localizare este plasat într-un mediu geografic ce favorizează reflexiile (forme de relief ample) sau mediu urban, se impune folosirea unor filtre adecvate.

Se consideră că propagarea undelor se face în plan. Pentru cazul tridimensional se pot folosi două astfel de sisteme, așezate adecvat.

Pentru rezolvare a fost aleasă metoda analitică, cu localizare într-un singur plan. Numărul minim de senzori a fost apreciat la 3. Pentru început se consideră că cei trei senzori acustici se află pe frontul de undă în același moment de timp (fig. 2).

Pentru fiecare punct în care sunt plasați senzorii acustici, coordonatele acestora se pot scrie conform notațiilor 1, sub forma vectorială. Indicele "0" este pentru axa OX și "1" este pentru axa OY, într-un sistem de coordonate carteziene, ales arbitrar.

$$X = \begin{pmatrix} X_0 \\ X_1 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} Y_0 \\ Y_1 \end{pmatrix} \quad Z = \begin{pmatrix} Z_0 \\ Z_1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Se calculează distanța dintre puncte, XY și YZ, vectorul ortogonal pe acestea și vectorul translatat. Aceștia din urmă sunt necesari pentru că sursa de semnal acustic se determină prin intersecția mediatoarelor celor două segmente care unesc senzorii acustici. Figura 3 prezintă obținerea acestor mediatoare (VO – vector ortogonal, VOT – vector ortogonal translatat). Relațiile 2 și 3 exprimă analitic transformările și notațiile folosite; se ține cont de reprezentare și de relația de transformare sub un unghi, în cazul nostru de $\pm 90^\circ$. Primul element reprezintă coordonata de pe axa "0" iar cea de al doilea element este de pe axa "1", relația 4.

$$YZ = \begin{pmatrix} Z_0 - Y_0 \\ Z_1 - Y_1 \end{pmatrix} \xrightarrow{Not} \begin{pmatrix} YZ_0 \\ YZ_1 \end{pmatrix} \quad XY = \begin{pmatrix} X_0 - Y_0 \\ X_1 - Y_1 \end{pmatrix} \xrightarrow{Not} \begin{pmatrix} XY_0 \\ XY_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{cases} X' = X \cos \theta - Y \sin \theta \\ Y' = X \sin \theta + Y \cos \theta \end{cases} \quad (3)$$

$$YZ_{VO} = \begin{pmatrix} -YZ_1 \\ YZ_0 \end{pmatrix} \xrightarrow{Not} \begin{pmatrix} YZ_{VO0} \\ YZ_{VO1} \end{pmatrix} \quad XY_{VO} = \begin{pmatrix} XY_1 \\ -XY_0 \end{pmatrix} \xrightarrow{Not} \begin{pmatrix} XY_{VO0} \\ XY_{VO1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Punctele M și N sunt mijloacele segmentelor XY și YZ, reprezentând punctele de pornire pentru dreptele a căror intersecție determină sursa de semnal. Coordonatele acestora sunt date în relația 5.

$$M = \begin{bmatrix} \frac{X_0+Y_0}{2} \\ \frac{X_1+Y_1}{2} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Not}} \begin{bmatrix} M_0 \\ M_1 \end{bmatrix} \quad N = \begin{bmatrix} \frac{Y_0+Z_0}{2} \\ \frac{Y_1+Z_1}{2} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Not}} \begin{bmatrix} N_0 \\ N_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Pentru determinarea punctelor de pe segmentele XY și YZ, se folosesc coordonatele punctelor M și N și cele ale vectorului ortogonal, de pe segmentele XY și YZ, relațiile 6.

$$YZ_{VT} = \begin{pmatrix} N_0 + YZ_{V00} \\ N_1 + YZ_{V01} \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{Not}} \begin{pmatrix} YZ_{VT0} \\ YZ_{VT1} \end{pmatrix} \quad XY_{VT} = \begin{pmatrix} M_0 + XY_{V00} \\ M_1 + XY_{V01} \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{Not}} \begin{pmatrix} XY_{VT0} \\ XY_{VT1} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Rezultă coordonatele pentru segmentele MP și NP, scrise prin coordonatele punctelor care le determină. Scrise sub formă matricială, aceste coordonate sunt date de relațiile 7.

$$MP = \begin{pmatrix} YZ_{V00} & YZ_{VT0} \\ YZ_{V01} & YZ_{VT1} \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{Not}} \begin{pmatrix} MP_{0,0} & MP_{0,1} \\ MP_{1,0} & MP_{1,1} \end{pmatrix} \quad NP = \begin{pmatrix} XY_{V00} & XY_{VT0} \\ XY_{V01} & XY_{VT1} \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{Not}} \begin{pmatrix} NP_{0,0} & NP_{0,1} \\ NP_{1,0} & NP_{1,1} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Ecuțiile dreptelor determinate de cele două segmente (MP și NP) sunt de forma $y=mx+n$. Intersecția celor două drepte, determinată prin rezolvarea sistemului de ecuații, reprezintă coordonatele punctului căutat (P), relațiile 8. Panta celor două drepte este dată de relațiile 9, obținute prin înlocuirea în sistemul 8 a coordonatelor cunoscute (punctele de pe segmentele MP, respectiv NP).

$$(P) \quad \begin{cases} y = m_1 \cdot x + n_1 \\ y = m_2 \cdot x + n_2 \end{cases} \quad (8)$$

$$m_1 = \frac{NP_{1,0} - NP_{1,1}}{NP_{0,0} - NP_{0,1}} \quad n_1 = NP_{1,0} - m_1 \cdot NP_{0,0} \quad m_2 = \frac{MP_{1,0} - MP_{1,1}}{MP_{0,0} - MP_{0,1}} \quad n_2 = MP_{1,0} - m_2 \cdot MP_{0,0} \quad (9)$$

Sistemul de relații final pentru găsirea coordonatelor punctului P este prezentat în relațiile 10.

$$\begin{cases} -m_1 \cdot x + y = n_1 \\ -m_2 \cdot x + y = n_2 \end{cases} \quad \begin{pmatrix} -m_1 & 1 \\ -m_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -m_1 & 1 \\ -m_2 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (10)$$

O rezolvare generală a problemei se face prin rezolvarea unui sistem de ecuații neliniare. Figura 5 prezintă desenul explicativ pentru această metodă. Se consideră date coordonatele senzorilor, distanța dintre acestea, perpendicular pe frontul de undă. În sinteză se cunosc (a,b) , (a_1,b_1) , (a_2,b_2) și razele cercurilor R1 și R2. Δt_1 reprezintă intervalul de timp în care sunetul parcurge spațiul de la cercul C1 la cercul C, iar Δt_2 reprezintă intervalul de timp în care sunetul parcurge spațiul dintre cercul C1 și C2. Necunoscutele care se determină sunt coordonatele (x,y) , (x_1,y_1) , (x_2,y_2) și raza R. Metoda de rezolvare propusă constă în determinarea unui cerc (C) tangent cercurilor (C1) și (C2), care trece prin punctul de coordonate (a,b) . Punctul de coordonate (a,b) este ultimul punct de impact iar punctul de coordonate (a_1,b_1) este penultimul punct de impact. Se pot scrie relațiile 11 sub forma unui sistem neliniar de ecuații.

$$\left\{ \begin{array}{l} (a-x)^2 + (b-y)^2 = (x_1-x)^2 + (y_1-y)^2 \\ (x_1-x)^2 + (y_1-y)^2 = (x_2-x)^2 + (y_2-y)^2 \\ (x_1-a_1)^2 + (y_1-b_1)^2 = R_1^2 \\ (x_2-a_2)^2 + (y_2-b_2)^2 = R_2^2 \\ (a-x)^2 + (b-y)^2 = R^2 \\ (x_1-x)^2 + (y_1-y)^2 = R^2 \\ (x_2-x)^2 + (y_2-y)^2 = R^2 \end{array} \right. \quad (11)$$

Dacă termenii ecuațiilor sunt trecuți în partea stângă, acestea sunt echivalente cu anularea funcțiilor f_1, f_2, \dots, f_7 care formează componentele vectorului $\mathbf{f}(\mathbf{x})$, explicat în relația 12.

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ f_3(x) \\ f_4(x) \\ f_5(x) \\ f_6(x) \\ f_7(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (a-X)^2 + (b-Y)^2 - (X_1-X)^2 - (Y_1-Y)^2 \\ (X_1-X)^2 + (Y_1-Y)^2 - (X_2-X)^2 - (Y_2-Y)^2 \\ (X_1-a_1)^2 + (Y_1-b_1)^2 - R_1^2 \\ (X_2-a_2)^2 + (Y_2-b_2)^2 - R_2^2 \\ (a-X)^2 + (b-Y)^2 - R^2 \\ (X_1-X)^2 + (Y_1-Y)^2 - R^2 \\ (X_2-X)^2 + (Y_2-Y)^2 - R^2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Matricea $W[\mathbf{f}(\mathbf{x})]$ din relația 13 are ca elemente derivatele parțiale ale funcțiilor care descriu ecuația din sistemul 11.

$$W[\mathbf{f}(\mathbf{x})] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_7} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_7} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_7}{\partial x_1} & \frac{\partial f_7}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_7}{\partial x_7} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$W[\mathbf{f}(\mathbf{x})] = \begin{bmatrix} 0 & -2(a-x) + 2(x_1-x) & -2(b-y) + 2(y_1-y) & -2(x_1-x) & -2(y_1-y) & 0 & 0 \\ 0 & -2(x_1-x) + 2(x_2-x) & -2(y_1-y) + 2(y_2-y) & 2(x_1-x) & 2(y_1-y) & -2(x_2-x) & -2(y_2-y) \\ 0 & 0 & 0 & 2(x_1-a_1) & 2(y_1-b_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(x_2-a_2) & 2(y_2-b_2) \\ -2R & -2(a-x) & -2(b-y) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2R & -2(x_1-x) & -2(y_1-y) & 2(x_1-x) & 2(y_1-y) & 0 & 0 \\ -2R & -2(x_2-x) & -2(y_2-y) & 0 & 0 & 2(x_2-x) & 2(y_2-y) \end{bmatrix} \quad (14)$$

Exemple de rezultate sunt prezentate în figurile 6 (cazul particular) și 7 (cazul general).

Sistemul pentru localizarea surselor de semnal acustic, are la bază o metodă de determinare caracterizată prin robustețe, viteză și precizie.

Soluția de găsim a sursei de semnal acustic se obține și dacă datele de intrare nu sunt corelate. Razele cercurilor tangente, prin intervalele de timp asociate, sunt dependente de coordonatele centrelor cercurilor. Acest lucru se reflectă în soluția găsită; soluția nu este unică, afectând exactitatea rezultatului. Pentru implementarea practică, datele de intrare trebuie să conțină și o estimare a soluției. Astfel, ca date de intrare, inițial, se folosește soluția particulară când senzorii s-ar afla simultan pe frontul de undă.

Numărul necesar de senzori a fost 3. Pentru cazul tridimensional, se poate folosi o altă grupă de trei senzori (sau doi plus unul din cei trei anteriori). Funcție de necesități se pot folosi mai multe grupe de senzori acustici, independente, rezultatul final fiind o analiză suplimentară a rezultatelor individuale. Cu cât numărul de senzori este mai mare cu atât siguranța rezultatului obținut este mai bună. Rețelele de senzori sunt cheia pentru colectarea informațiilor necesare din mediul înconjurător, Pentru rețeaua de senzori este important ca să poată fi ușor de instalat și de întreținut. Pentru cazul general de plasare a senzorilor, concluziile sunt asemănătoare cu cele din cazul particular.

Pentru implementarea practică, este recomandabil să fie folosită o placă de achiziție cu achiziție simultană pe canale sau, pentru un cost mai redus, un sistem de achiziție cu eșantionare simultană pe canale.

Lucrarea a urmărit găsirea unei soluții (proceduri) pentru determinarea sursei unui semnal acustic. Efortul de calcul al algoritmului este redus ceea ce face ca să poată fi folosit în aplicații de timp real. Aplicația principală de folosire a acestui algoritm o reprezintă localizarea trăgătorilor izolați în teren, a locațiilor unde s-a produs o explozie. Acesta ar permite un timp de reacție rapid, obiectiv și precis. Realizarea unui dispozitiv în care să se poată implementa algoritmul dezvoltat în lucrare poate fi o continuare a lucrării.

Alte aplicații pot fi cele din domeniul civil, spre exemplu folosind senzori pentru infrasunete, se pot localiza surse ale acestor unde (epicentre de seisme, animale ce emit infrasunete: elefanți, balene).

Revendicări

1. Sistemul pentru localizarea surselor de semnal acustic este **caracterizat prin aceea** că folosește un algoritm robust pentru evaluarea distanței și direcției unei surse de zgomot (împușcătură, explozie, generator de sunet).

2. Etapele de evaluare constau în prelevarea sunetelor din mediul înconjurător de către o rețea de senzori, achiziția semnalelor rezultate prin intermediul unei plăci de achiziție cu anumite caracteristici, prelucrarea semnalelor după un algoritm **caracterizat prin aceea** că este constituit din următoarele:

- transformări geometrice (translație, rotație) asupra segmentelor determinate de poziția (coordonatele) senzorilor, pentru evaluarea preliminară;
- modelul geometric constând în determinarea coordonatelor centrului unui cerc (C) tangent cercurilor (C1) și (C2), care trece prin punctul de coordonate (a, b). Punctul de coordonate (a, b) este ultimul punct de impact iar punctul de coordonate (a1, b1) este penultimul punct de impact;
- generarea unei funcții vectoriale f, care depinde atât de coordonatele inițiale (a, b, a1, b1, a2, b2 și razele cercurilor R1 și R2) cât și de datele evaluate în prima etapă (x, y, x1, y1, x2, y2 și raza R);
- o procedură originală care folosește o reprezentare analitică bazată pe funcția vectorială f; componentele acesteia reprezintă ecuațiile determinante pentru modelul geometric;

3. Folosind funcția f, a fost construită simbolic matricea derivatelor parțiale, $W[f(x)]$, care va fi folosită pentru găsirea soluției;

4. Metoda de localizare a sursei de sunet se bazează pe anularea funcției vectoriale f.

5. Modul de construire a funcției f și condițiile de anulare ale acesteia constituie obiectul invenției;

6. Algoritmul implementat este **caracterizat prin aceea** că poate oferi într-un timp scurt (<1secundă) coordonatele căutate, ale sursei de semnal acustic.

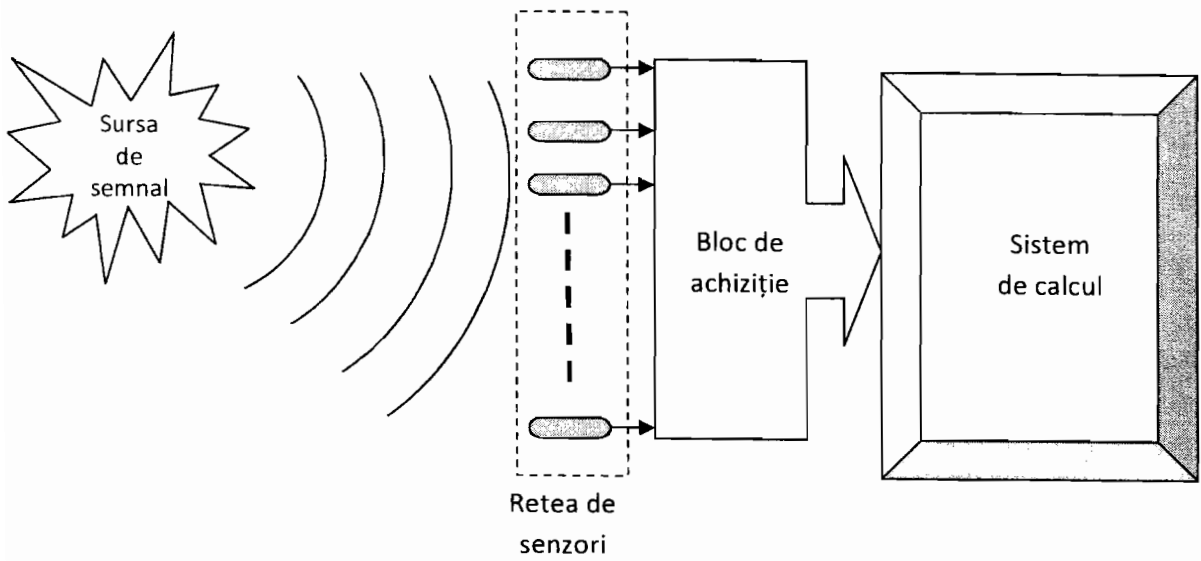


Fig. 1

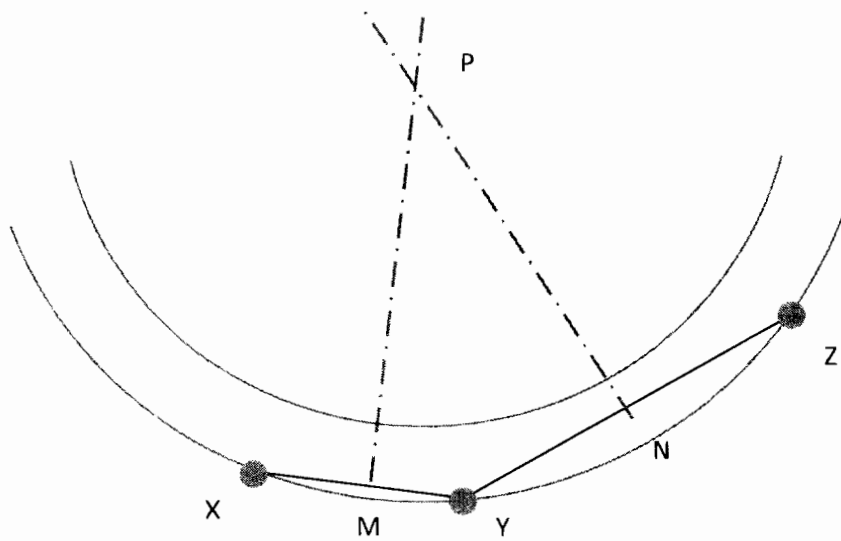


Fig. 2

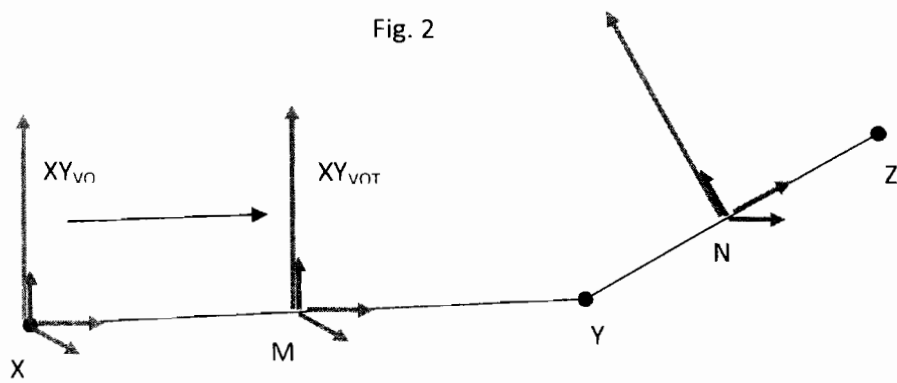


Fig. 3

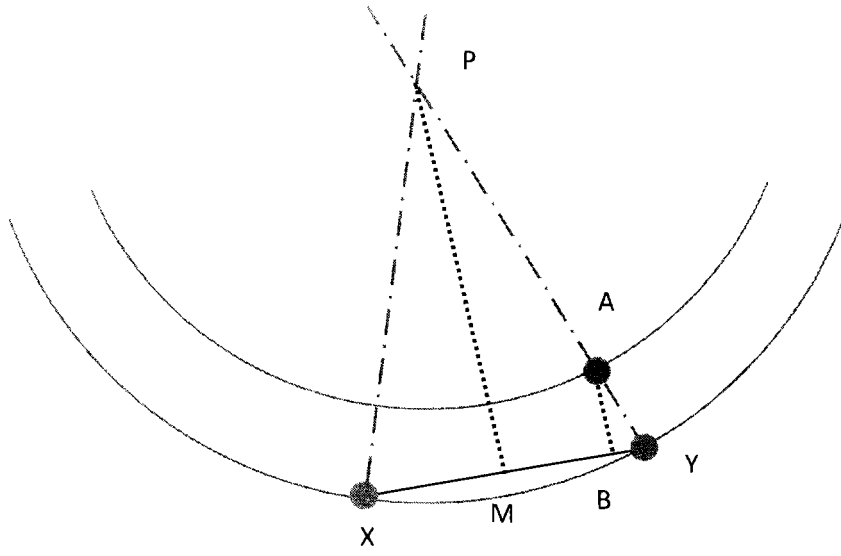


Fig. 4

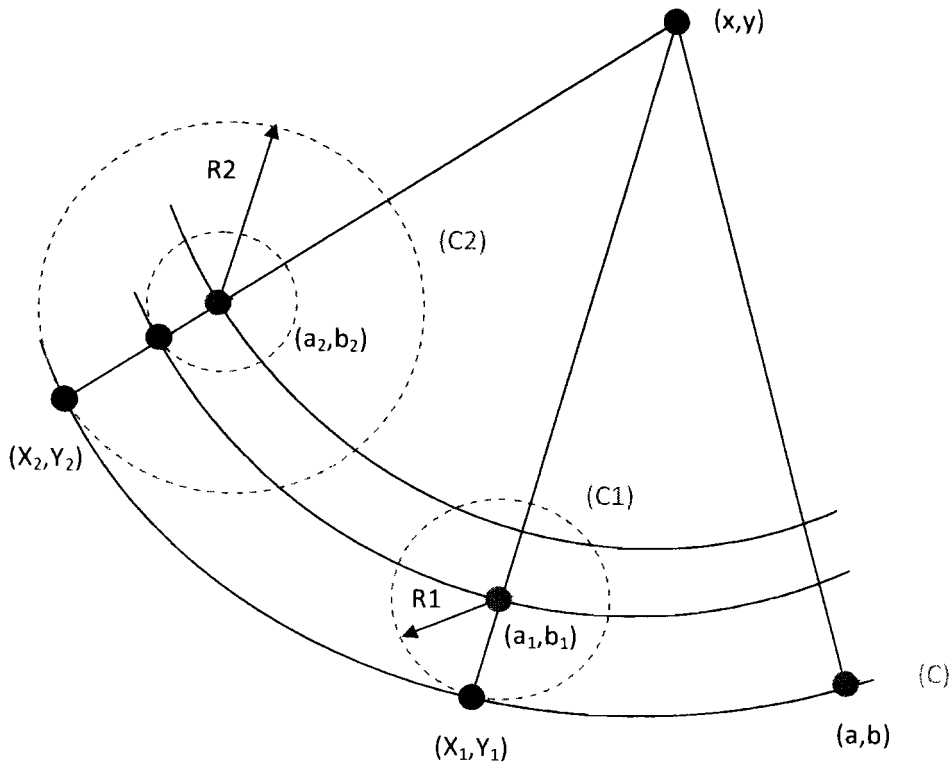


Fig. 5

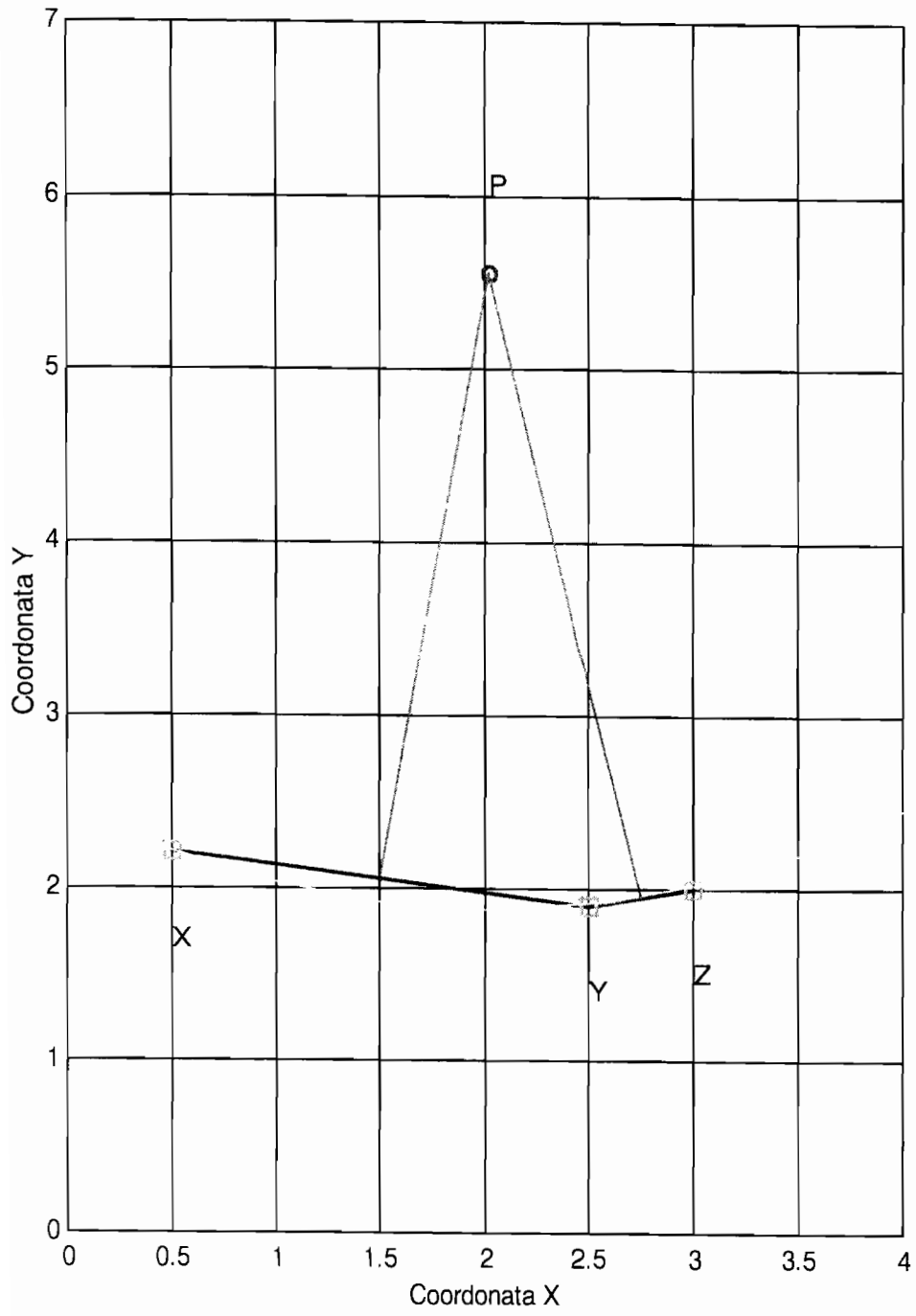


Fig. 6

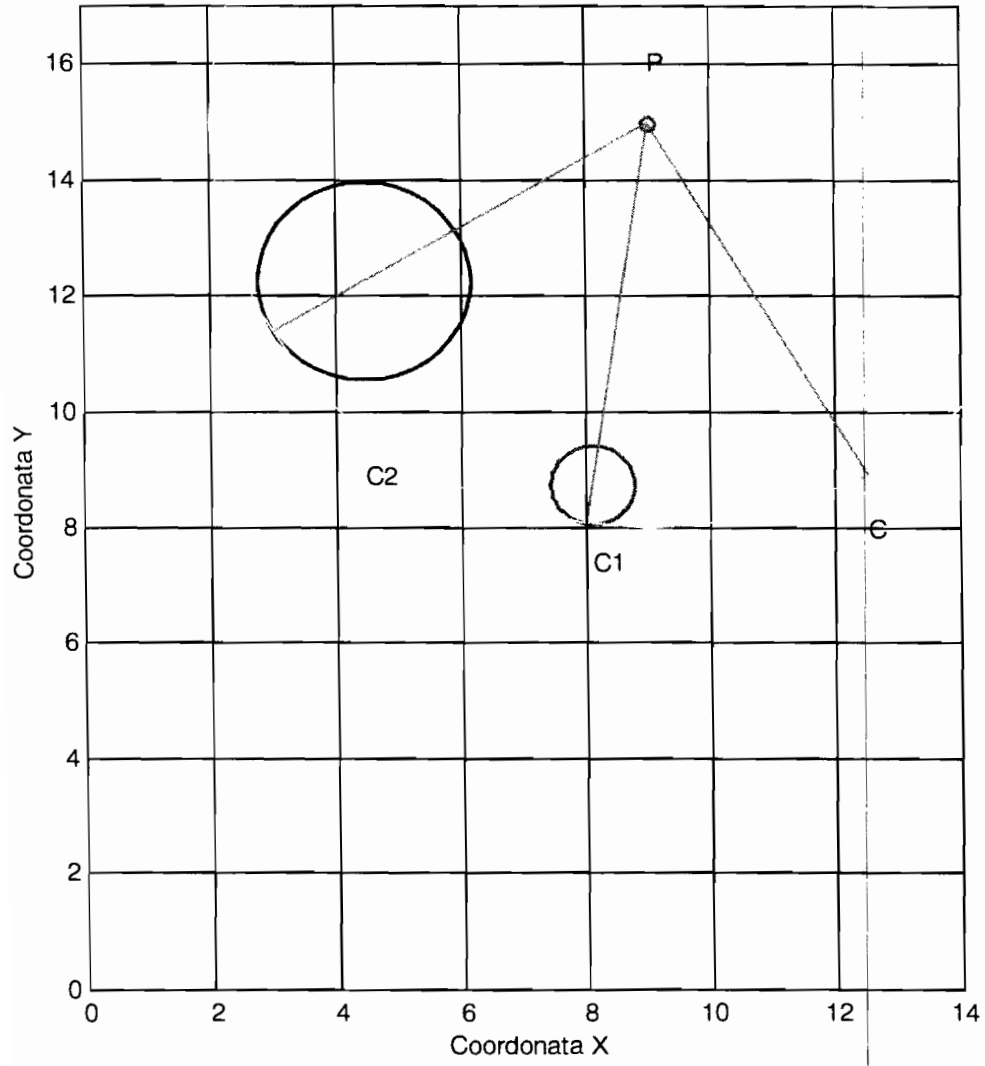


Fig. 7