(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 709 834**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **93 10777**

(51) Int Cl[6] : G 01 S 13/46 , 13/93 , G 06 F 17/14 , 19/00 G 06 F 165:00

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 10.09.93.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 17.03.95 Bulletin 95/11.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *FRAMATOME* — FR.

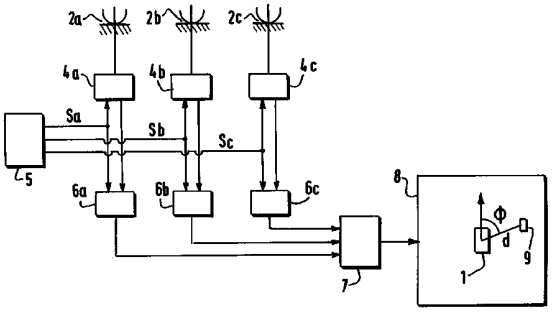
(72) **Inventeur(s) :** Mercier Omer et Trouble Michel.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire :** Bloch & Associés Conseils en Propriété Industrielle.

(54) Procédé et dispositif pour la détection et la localisation d'obstacles dans l'environnement d'un véhicule.

(57) L'invention concerne un procédé de détection et de localisation d'obstacles dans l'environnement d'un véhicule. A cet effet, il comprend les étapes consistant à émettre des signaux en direction dudit environnement à partir d'une pluralité de radars (2) disposés sur le véhicule, à déduire des signaux reçus en écho les probabilités d'occupation par un obstacle d'un ensemble de cellules élémentaires (9) dudit environnement, et à fusionner les probabilités relatives à chacune desdites cellules.



FR 2 709 834 - A1

Procédé et dispositif pour la détection et la localisation d'obstacles dans l'environnement d'un véhicule

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour la détection et la localisation d'obstacles situés dans l'environnement d'un véhicule arrêté ou en mouvement.

Une fonction importante de la robotique mobile concerne la détection des objets ou obstacles situés au devant ou sur le côté du véhicule porteur, dans la mesure où ceux-ci peuvent entraver son mouvement et doivent être contournés, ou nécessitent son arrêt complet par souci de sécurité ou, au contraire, sont suffisamment distants ou dans une direction telle que le véhicule peut continuer son chemin sans écart.

Un aspect secondaire de cette détection consiste à exploiter une connaissance a priori du positionnement (absolu) de l'objet détecté par rapport à une carte ou un site plus vaste, pour qu'en détectant cet objet et en mesurant ses coordonnées (site et distance) on puisse en retirer une information sur la position absolue du véhicule lui-même.

Un moyen commode pour détecter des objets situés dans la périphérie d'un véhicule et permettant d'en mesurer les coordonnées consiste à utiliser des capteurs à ultra-sons.

Selon cette technologie bien éprouvée, une onde acoustique est émise périodiquement et, se trouvant réfléchie par les objets constituant des obstacles à sa propagation, revient vers le capteur après un temps de retard, lequel dépend directement de la distance de l'objet ainsi détecté.

Pour assurer la détection périphérique d'un véhicule, il convient de disposer un nombre suffisant de tels capteurs sur son pourtour en fonction de l'angle d'ouverture du capteur élémentaire. Ce nombre est d'autant plus élevé que les capteurs auront un lobe de détection étroit.

L'utilisation de ces capteurs fournit une information de distance par rapport à un obstacle, mais l'information d'orientation angulaire est d'autant moins bonne

que les capteurs sont à lobe large. En effet, dans la mesure où un capteur voit un obstacle donné non pas en un point de l'espace mais de manière ambigûe en tous points situés à égale distance, si l'on associe plusieurs capteurs pour assurer la couverture du périmètre du véhicule, l'indétermination de la position angulaire des obstacles détectés peut être excessivement grande.

A contrario, une détection plus fine exige un nombre supérieur de capteurs élémentaires, à lobes plus étroits, ce qui accroît le coût global de la détection.

Un autre inconvénient de l'utilisation de capteurs à ultra-sons est leur très grande sensibilité aux perturbations acoustiques extérieures, aux anomalies de réflexion sur certains obstacles, ainsi que la sensibilité au vent des ondes sonores, l'écho pouvant même être soufflé et ne jamais revenir à sa source.

La présente invention vise à pallier ces inconvénients.

A cet effet, l'invention a tout d'abord pour objet un procédé de détection et de localisation des obstacles situés dans l'environnement d'un véhicule, caractérisé par le fait qu'il comprend les étapes consistant à émettre des signaux en direction dudit environnement à partir d'une pluralité de radars disposés sur le véhicule, à déduire des signaux reçus en écho les probabilités d'occupation par un obstacle d'un ensemble de cellules élémentaires dudit environnement, et à fusionner les probabilités relatives à chacune desdites cellules.

Des algorithmes de fusion d'informations sont déjà connus dans la technique. Toutefois le fait de fusionner des probabilités d'occupation de cellules élémentaires, ces probabilités étant elles-mêmes obtenues à partir de signaux radar, peut donner, avec la technique selon l'invention, des résultats tout à fait surprenants par leur précision, permettant même la cartographie des obstacles détectés et rendant donc possible leur évitement ainsi que la localisation du véhicule lui-même, du fait de la grande qualité de la modélisation de l'environnement ainsi effectuée.

Par ailleurs, contrairement aux capteurs à ultra-sons, les radars peuvent être utilisés en extérieur et par tout temps.

Enfin on a pu constater que l'invention permet même d'utiliser des radars de performance individuelle relativement médiocre sans altérer les résultats de la modélisation globale.

Dans un mode de réalisation de l'invention, la fusion est effectuée sur les valeurs des probabilités fournies par une pluralité de radars, et notamment deux radars.

Dans ce cas, la fusion est effectuée de manière spatiale de manière à associer des données retournées simultanément par un sous-ensemble de radars ayant détecté un même obstacle sous des angles différents.

Dans un autre mode de réalisation, la fusion est effectuée sur la valeur de la probabilité fournie par un radar et la valeur de la probabilité antérieurement connue pour la même cellule.

La fusion est dans ce cas effectuée de manière temporelle, le même obstacle étant vu successivement par un même capteur qui aura avancé en même temps que le véhicule. Dans ce cas, l'opération de fusion est appliquée à la valeur déjà affectée à la cellule.

On peut déduire des signaux reçus en écho une information de distance et une information angulaire sur les obstacles et déterminer lesdites probabilités d'occupation à partir de ces informations.

De préférence on prévoit une étape de seuillage des résultats de la fusion de manière à obtenir une carte dépouillée des artefacts divers pouvant provenir de réflexion spéculaires ou multiples, des ondes radars émises.

Selon un mode de réalisation particulière de l'invention, le signal émis par les radars est modulé en fréquence, le signal reçu en écho est mélangé à une fraction du signal émis pour, après élimination de la fréquence porteuse, former un signal de battement, et les impulsions de battement sont comptées pendant un intervalle prédéterminé pour fournir la distance d'un obstacle.

En variante, cette distance peut être fournie par transformation de Fourrier.

Avantageusement, l'émission de chaque radar dure un temps limité et la logique de répétition peut même être codée en vue de l'identification de la source.

L'invention a également pour objet un dispositif pour la modélisation de l'environnement d'un véhicule, caractérisée par le fait qu'il comprend une pluralité de radars montés sur le véhicule et une unité de traitement agencée pour fusionner les données fournies par les radars.

Grâce à l'opération de fusion, on peut sans inconvénient choisir des radars à lobe large, donc de performance moyenne et de coût peu élevé.

On observera que les radars de ce type, notamment les radars Doppler courants, sont généralement utilisés en mesure de vitesse alors qu'ici, c'est la distance qui est mesurée à titre principal, la mesure de vitesse n'étant éventuellement utilisée qu'à titre accessoire. De surcroît, alors que les radars utilisés en vue de mesures de distances sont généralement des radars fonctionnant en impulsions, on utilise ici de préférence des radars à émission continue et fonctionnant en modulation de fréquence.

On décrira maintenant à titre d'exemple non limitatif un mode de réalisation particulier de l'invention, en référence aux dessins schématiques annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique de dessus d'un véhicule muni des moyens de l'invention,

- la figure 2 est un diagramme fonctionnel de ces moyens,

- la figure 3 illustre les signaux émis par les radars,

- la figure 4 représente la modélisation de l'environnement du véhicule,

- la figure 5 illustre la fonction de répartition des probabilités d'occupation d'une cellule par un obstacle en fonction de la distance au foyer d'une antenne et

- la figure 6 illustre la fonction de répartition des probabilités d'occupation de cette cellule en fonction de l'écart angulaire entre sa direction et l'axe de l'antenne.

La figure 1 représente un véhicule automatique muni d'une plate-forme 1 sur laquelle sont montés une pluralité de radars 2, par exemple une vingtaine. Les radars 2 sont ici des radars à lobe large, c'est-à-dire d'angle d'ouverture 2θ typiquement compris entre 15° et et 120°. On rappelle qu'un angle 2θ important est recherché pour obtenir une bonne couverture périphérique autour du véhicule avec un nombre de capteurs aussi réduit que possible.

Les radars 2 sont ici des radars FMCW à modulation de fréquence et à émission continue ou par fenêtre temporelle.

Les radars 2 sont placés à la périphérie du véhicule de manière à obtenir une vision aussi complète que désirée de son environnement. La finesse de la couverture de détection et de la modélisation en général, dépend directement du nombre de radars utilisés dont les lobes individuels peuvent se rejoindre arbitrairement comme cela est repésenté vers l'avant (flèche 3) et le côté du véhicule.

On voit sur la figure 2 trois des antennes radars 2a, 2b et 2c. Chacune de ces antennes est reliée par l'intermédiaire d'un circuit d'inteface 4a, 4b, 4c respectivement, à une unité 5 susceptible d'élaborer les signaux de déclenchement Sa, Sb et Sc respectivement des radars. En variante, les signaux de déclenchement peuvent être communs à tous les radars.

Les signaux Sa, Sb, Sc sont modulés en fréquence comme représenté à la figure 3. Une fréquence porteuse Fp est modulée par une onde en dent de scie de fréquence Δf. Cette génération de fréquence peut être assurée au niveau de l'unité 5 par une diode oscillatrice GUNN.

Optionnellement, pour chaque signal Sa, Sb, Sc, l'émission modulée dure un temps limité D. On facilite ainsi la différenciation des signaux reçus ainsi que l'extraction des informations recherchées. Par ailleurs, en codant la logique de répétition des émissions, c'est-à-dire la durée T sur la figure 3, par exemple selon un modèle pseudo-aléatoire, il est possible de personnaliser chacune des émissions. On peut ainsi en particulier faire évoluer plusieurs véhicules dans le même environnement.

Le signal reçu en retour par chaque antenne 2a, 2b, 2c est traité dans une unité de traitement analogique 6a, 6b, 6c respectivement.

Le signal reçu est déphasé par rapport au signal émis. Par mélange dans l'unité 6 correspondante avec une fraction du signal émis, après élimination de la fréquence porteuse, un signal de battement à une fréquence type de l'ordre de 1 kHz est obtenu.

Le signal est tout d'abord filtré pour éliminer les hautes fréquences, correspondant aux obstacles les plus éloignés. On ne retient ainsi que le signal rétrodiffusé par le premier obstacle rencontré, qui est ensuite traité par transformée de Fourrier.

Par ailleurs, la comparaison de la fréquence de l'onde porteuse rétrodiffusée et de celle de l'onde porteuse du signal émis donne la fréquence Doppler F_d qui est proportionnelle à la vitesse de rapprochement ou d'éloignement du véhicule de l'obstacle détecté, selon la relation :

$$v = 1/2 \, \lambda \, F_d$$

où $\lambda = c/F$ (vitesse de propagation/fréquence d'émission)

L'information de vitesse n'est pas nécessaire à la mise en oeuvre de l'invention. Sa disponibilité constitue néanmoins un avantage dans les applications.

Les informations de distance et vitesse numérisées sont fournies par les unités de traitement analogiques 6a, 6b, 6c au processeur numérique 7.

Le processeur 7 est constitué pour l'essentiel d'une unité de calcul susceptible d'accéder à une mémoire 8.

A chaque élément de la mémoire 8 est associée une cellule élémentaire 9 de l'environnement du véhicule. Le contenu de chacun de ses éléments de mémoire représente la probabilité pour qu'une cellule particulière, repérée par son site ϕ et sa distance d par rapport au véhicule, renferme un obstacle.

La figure 4 représente 2 radars 11 et 12 ayant chacun détecté un obstacle, le premier à la distance d_1 et le second à la distance d_2. Par convention, on décide que la probabilité d'occupation d'une cellule par un obstacle est comprise entre -1 (la cellule est certainement non occupée) et +1 (la cellule est certainement occupée), la probabilité p = 0 correspondant à l'incertitude.

Connaissant la position du foyer de chaque antenne ainsi que son axe de visée, on affecte à chaque cellule une probabilité d'occupation fonction de la distance à laquelle un obstacle a été détecté, de la distance de cette cellule au foyer de l'antenne et de l'écart angulaire entre l'axe de visée de l'antenne et la direction de la cellule. A titre d'exemple, la figure 5 représente la fonction de répartition des probabilités d'occupation d'une cellule en fonction de sa distance au foyer de l'antenne du radar 11, et la figure 6 la fonction de répartition des probabilités en fonction de l'écart angulaire α entre l'axe de cette antenne et la direction considérée. La probabilité maximale est bien entendu rencontrée pour la distance d_1 et dans la direction de visé de l'antenne.

Les différentes zones de probabilités sont portées sur les figures 4 à 6. La zone B de probabilité positive sur la figure 5 correspond à deux bandes annulaires de part et d'autre du cercle de rayon d_1. On vérifie par ailleurs sur la figure 5 que seul le premier obstacle rencontré est pris en compte puisqu'au-delà d'une certaine distance (zone D) fonction de d_1 aucune information n'est apportée par la mesure. De même sur la figure 6, aucune information n'est apportée par la mesure en dehors du lobe d'émission (zone A).

Les niveaux possibles de quantification entre les valeurs -1 et +1 dépendent des performances du matériel de calcul utilisé, la performance globale de la représentation de l'environnement étant d'autant meilleure que ces niveaux sont plus nombreux.

Lorsque l'on a de cette manière affecté à une cellule donnée, par la mesure effectuée à l'aide du radar 11, une probabilité p1 d'occupation de cette cellule par un obstacle et, par la mesure effectuée à l'aide du radar 12, une probabilité p2, on met en oeuvre l'algorithme de fusion suivant :

- si $p1 > 0$ et $p2 > 0$.

$$F(p1, p2) = p1 + p2 - p1.p2$$

- si $p1 < 0$ et $p2 > 0$

$$F(p1,p2) = p1 + p2 + p1.p2$$

- si $p1 < 0$ et $p2 < 0$

$$F(p1,p2) = \frac{p1 + p2}{1 - \text{Min}\,(p1,p2)}$$

Cet algorithme peut être mis en oeuvre de la façon décrite ci-dessus, c'est-à-dire spacialement, en fusionnant les informations de probabilité provenant de deux radars, ou encore de manière temporelle, en utilisant l'information de probabilité provenant d'un seul radar et en la fusionnant avec la probabilité déjà présente pour la cellule considérée dans la mémoire 8.

Les probabilités d'occupation de l'espace s'expriment continument entre -1 (cellule certainement vide) et +1 (cellule certainement occupée). On réalise ensuite un seuillage des résultats de la fusion brute de manière à obtenir une carte de l'environnement du véhicule sur laquelle sont portés les obstacles.

On peut d'ailleurs améliorer la représentation de cette carte en lui faisant subir une opération morphologique de type "fermeture" (dilatation - érosion), connue dans le domaine du traitement d'image.

La carte ainsi obtenue fournit ainsi une information précise sur l'environnement du véhicule et permet :

- son évolution avec évitement éventuel d'obstacles ;

- sa relocalisation par comparaison entre les emplacements mesurés des obstacles et une connaissance a priori de ces obstacles.

On peut par ailleurs envisager d'autres systèmes émetteurs-récepteurs de signaux que le radar, par exemple de télémètres laser ou infrarouge ou des sonars.

REVENDICATIONS

1. Procédé de détection et de localisation d'obstacles dans l'environnement d'un véhicule, caractérisé par le fait qu'il comprend les étapes consistant à émettre des signaux en direction dudit environnement à partir d'une pluralité de radars (2) disposés sur le véhicule, à déduire des signaux reçus en écho les probabilités d'occupation par un obstacle d'un ensemble de cellules élémentaires (9) dudit environnement, et à fusionner les probabilités relatives à chacune desdites cellules.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la fusion est effectuée sur les valeurs des probabilités fournies par une pluralité de radars, et notamment deux radars.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel la fusion est effectuée sur la valeur de la probabilité fournie par un radar et la valeur de la probabilité antérieurement connue par la même cellule.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel on déduit, des signaux reçus en écho, une information de distance et une information angulaire sur les obstacles, et on détermine lesdites probabilités d'occupation à partir de ces informations.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant une étape de seuillage des résultats de la fusion.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le signal émis par les radars est modulé en fréquence, le signal reçu en écho est mélangé à une fraction du signal émis pour, après élimination de la fréquence porteuse, former un signal de battement, et la distance d'un obstacle est obtenue soit par transformation de Fourrier soit par comptage pendant un intervalle de temps prédéterminé.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'émission de chaque radar dure un temps limité, et la logique de répétition est codée en vue de l'identification de la source.

8. Dispositif pour la détection et la localisation d'obstacles dans l'environnement d'un véhicule, caractérisé par le fait qu'il comprend une pluralité de radars (2) montés sur le véhicule et une unité de traitement (7) agencée pour fusionner les données fournies par les radars.

9. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel les radars sont à lobe large.

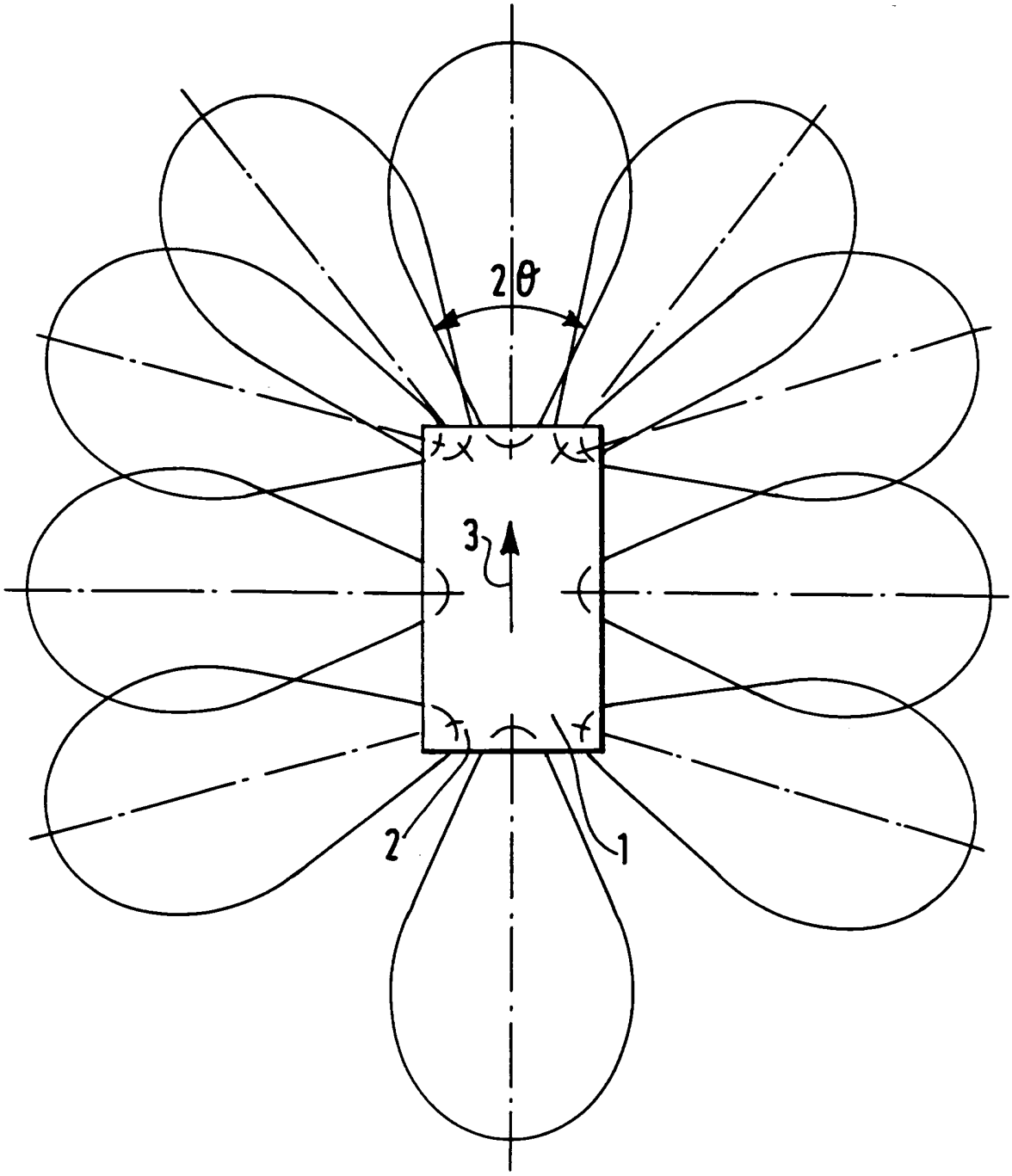
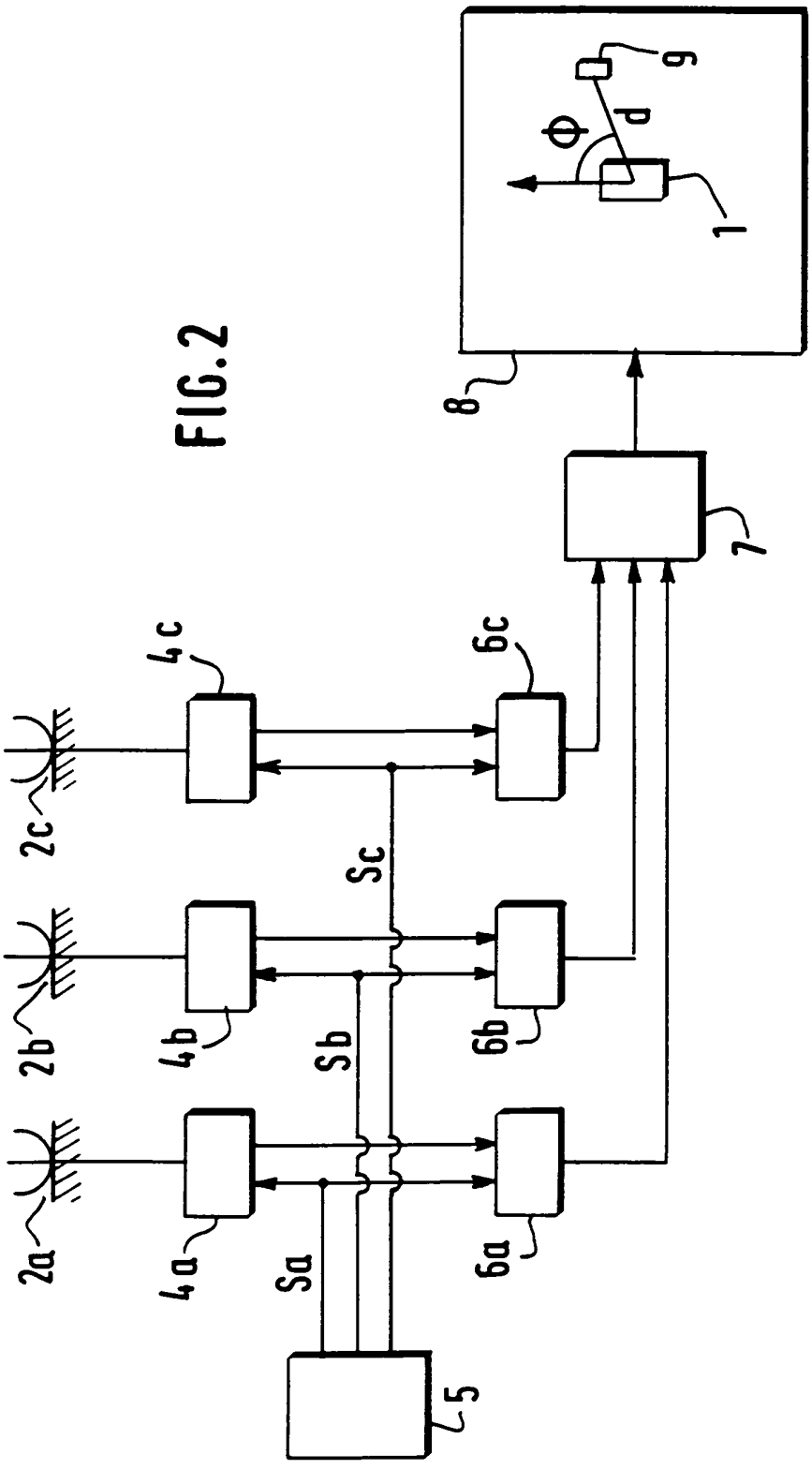


FIG.1

FIG.2



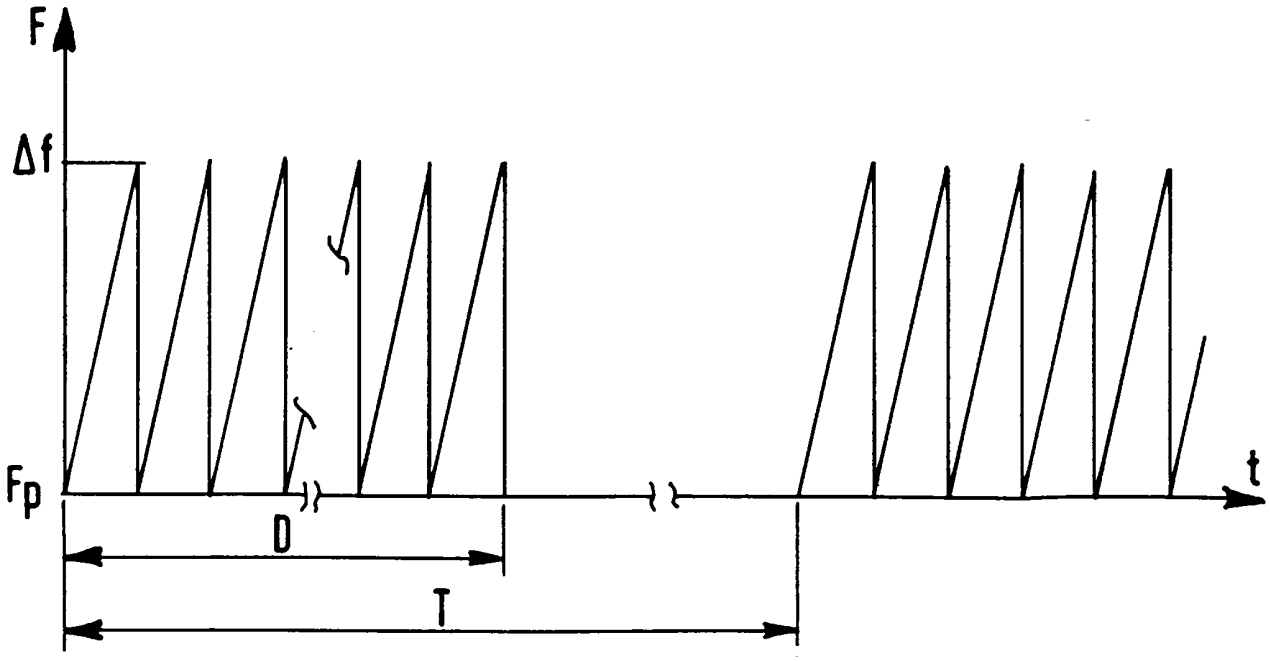


FIG. 3

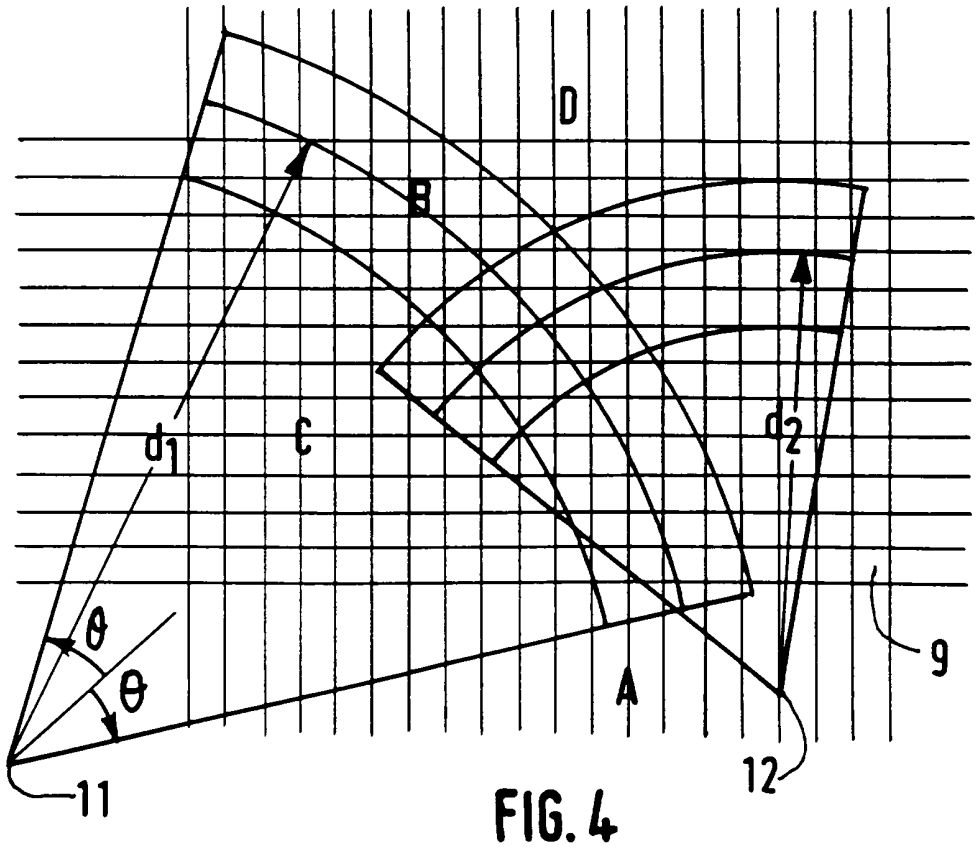


FIG. 4

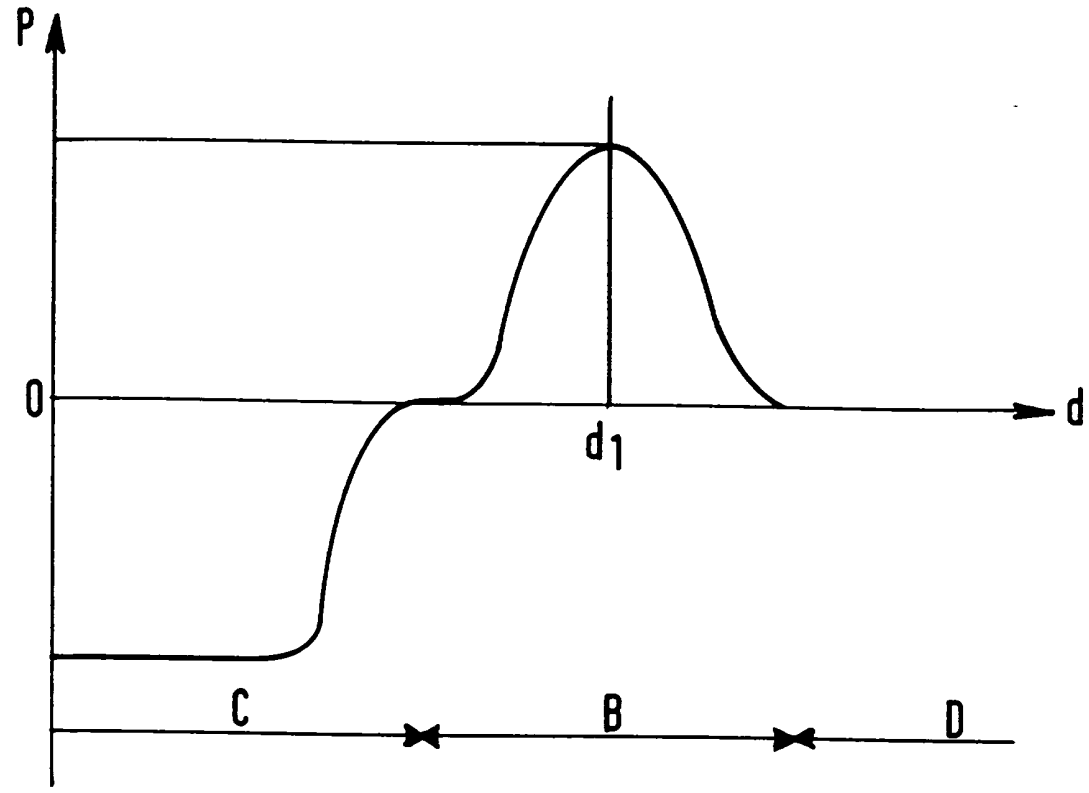


FIG.5

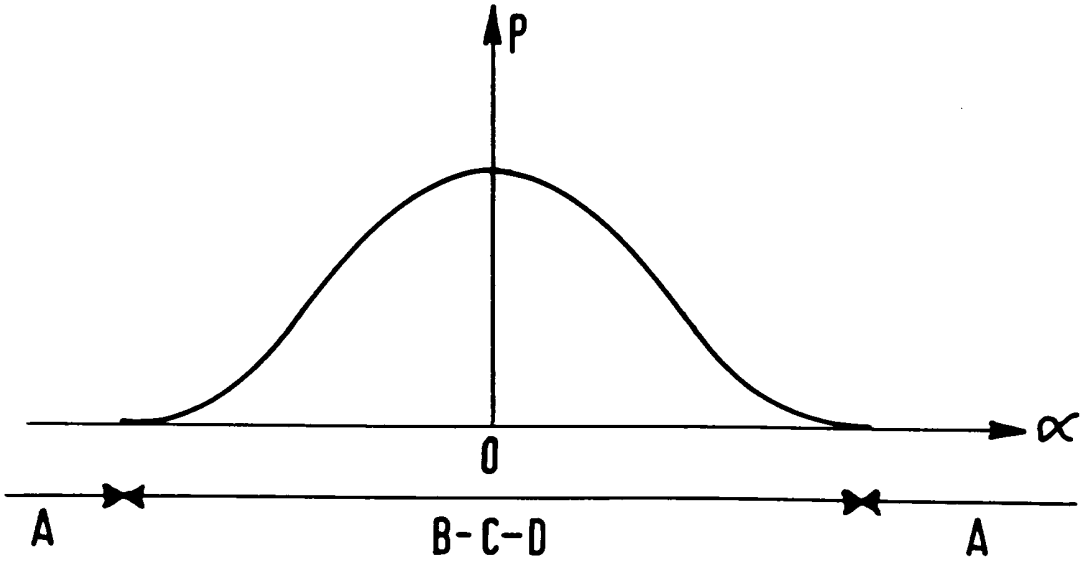


FIG.6

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

2709834

N° d'enregistrement national

FA 492151
FR 9310777

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y A	WO-A-89 06808 (PAOLETTI PAOLO) 27 Juillet 1989 * le document en entier *	1,3,4,8, 9 6,7
Y	IECON 91, INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, vol.2, 28 Octobre 1991, KOBE, JAPAN pages 1133 - 1137, XP313420 PUENTE ET AL. 'Analysis of Data Fusion Methods in Certainty Grids Application to Collision Danger Monitoring'	1,3,4,8, 9
A	* page 1133 *	2
A	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN REAL-TIME CONTROL. PROCEEDINGSOF THE IFAC WORKSHOP, 19 Septembre 1989, SHENYANG, CHINA pages 19 - 24 C.J. HARRIS 'distributed estimation, inferencing and multi-sensor data fusion for real time supervisory control'	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
G01S

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
18 Mai 1994	Zaccà, F

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)