

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 20.02.03.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 27.08.04 Bulletin 04/35.

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) : INSTITUT FRANCO-ALLEMAND DE RECHERCHES DE SAINT LOUIS — FR.

72 Inventeur(s) : FLECK VOLKER, RAYMOND PIERRE et VILLIEN CHRISTOPHE.

73 Titulaire(s) :

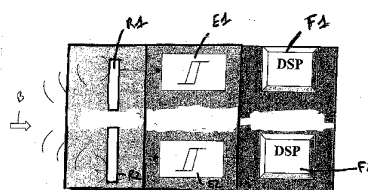
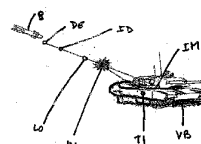
74 Mandataire(s) : BOUJU DERAMBURE BUGNION SA.

54 PROCÉDE ET DISPOSITIF DE DETERMINATION DE TRAJECTOIRE DE MOBILES RAPIDES PAR MESURE DE LA VITESSE APPARENTE ET FILTRAGE DE KALMAN.

57 Le procédé pour déterminer la trajectoire d'un mobile comprend les étapes suivantes:

- i) prévoir au moins un capteur (R1, R2, R3) apte à capter et délivrer des informations relatives à la vitesse apparente du mobile, et un dispositif de traitement (E1, F1, E2, F2),
- ii) dans une direction choisie et pendant une durée choisie, capter des informations relatives à la vitesse apparente du mobile, et
- iii) recevoir et traiter les informations ainsi captées afin d'en déduire des paramètres caractérisant au moins la trajectoire du mobile dans un repère plan choisi.

Le procédé fait appel à deux ou trois capteurs (R1, R2, R3) pour déterminer la trajectoire du mobile dans un repère spatial et utilise un filtrage de Kalman pour un fonctionnement en temps réel.



La présente invention se rapporte à la détermination de trajectoires de mobiles par l'utilisation d'un moyen de mesure de la vitesse apparente du mobile et par filtrage de Kalman.

5 Elle trouve une application générale dans la détermination de trajectoires de mobiles et plus particulièrement dans le blindage actif qui est destiné à protéger les chars contre des mobiles très rapides tels que des projectiles perforants à 2000 m/s.

10 Elle peut aussi s'appliquer sur d'autres plates-formes tels que véhicule, bateau, station au sol, ainsi qu'à la détection et localisation d'autres objets, drones, missiles ou analogues.

Elle peut encore trouver une application dans la détection, la surveillance, le
15 contrôle de vitesse et la position de véhicules.

D'une manière générale, le principe du blindage actif d'un véhicule est d'intercepter le projectile à l'aide d'une plaque ou d'un tir d'un élément de protection, avant que le projectile n'atteigne sa cible.

20 Il faut donc pour cela déterminer avec précision la trajectoire du projectile en respectant des délais extrêmement brefs.

Plusieurs techniques peuvent conduire à la trajectoire du projectile.

25 Par exemple, une solution connue consiste à utiliser un radar de type impulsif à balayage séquentiel qui mesure immédiatement et directement les paramètres de la trajectoire d'un projectile (angles, vitesse, distance).

30 L'inconvénient de ce genre de radar évolué est d'être généralement extrêmement complexe, et relativement onéreux.

La présente invention remédie à cet inconvénient.

Elle porte sur un procédé pour déterminer la trajectoire d'un mobile.

Selon une définition générale de l'invention, le procédé comprend les étapes suivantes :

- 5 - i) prévoir au moins un capteur apte à capter et délivrer des informations relatives à la vitesse apparente du mobile, et un dispositif de traitement,
- ii) dans une direction choisie et pendant une durée choisie, capter des informations relatives à la vitesse apparente du mobile, et
- iii) recevoir et traiter les informations ainsi captées afin d'en déduire des
- 10 paramètres caractérisant au moins la trajectoire du mobile dans un repère plan choisi.

Un tel procédé exploite comme seule information la vitesse apparente du mobile et son évolution au cours du temps, ou toute autre grandeur liée à la

15 vitesse apparente du mobile, ce qui lui permet de déterminer la trajectoire d'un mobile rapide à l'aide de capteurs et/ou composants rudimentaires et bon marché tels que des radars Doppler, des vélocimètres laser ou analogues.

Selon un mode de mise en œuvre du procédé, il est prévu de disposer au

20 moins deux ou trois capteurs les uns par rapport aux autres selon une relation géométrique prédéterminée et de traiter les informations relatives à la vitesse apparente du mobile ainsi captées par lesdits capteurs dans une direction choisie et pendant une durée choisie, pour en déduire des paramètres caractérisant la trajectoire du mobile dans un repère spatial choisi.

25 Ainsi, la mesure peut être effectuée par un unique capteur dans le cas du problème planaire et par deux ou trois capteurs dans le cas du problème spatial.

30 Selon un mode de réalisation dans lequel les capteurs sont des radars Doppler émettant de manière continue dans une direction choisie à des fréquences différentes et constantes, l'étape de traitement exploite l'évolution de l'écart de phase entre l'onde émise par chaque capteur et l'onde réfléchie par le mobile.

En pratique, l'étape de traitement comprend une approximation de ladite fonction d'évolution de l'écart de phase par un polynôme fonction du temps.

De préférence, les coefficients du polynôme sont déterminés à partir d'un
5 filtrage numérique du type filtre de KALMAN.

Avantageusement, la mise en œuvre d'un filtre de KALMAN, par son fonctionnement itératif et causal, permet un fonctionnement en temps réel.

10 L'intérêt du filtre de Kalman réside ici dans sa capacité à combiner de manière optimale les mesures obtenues sur le système, entachées d'erreurs, avec la prédiction théorique décrite par les équations différentielles de l'état du système. Cette association fait appel à des considérations probalistiques qui permettent d'estimer la confiance à accorder à la fois aux mesures et à la
15 prédiction.

La présente invention a également pour objet un dispositif de détermination de trajectoires pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

20 En pratique, le dispositif de détermination de trajectoires comprend au moins un capteur apte à capter et délivrer des informations relatives à la vitesse apparente du mobile, et un dispositif de traitement aptes à recevoir et traiter les informations relatives à la vitesse apparente du mobile ainsi captées dans une direction choisie et pendant une durée choisie, afin d'en déduire les paramètres
25 caractérisant au moins la trajectoire du mobile dans un repère plan choisi.

Selon une autre réalisation, le dispositif de détermination de trajectoires comprend au moins deux ou trois capteurs disposés les uns par rapport aux autres selon une relation géométrique prédéterminée et le dispositif de
30 traitement est apte à traiter les informations relatives à la vitesse apparente du mobile émanant de chaque capteur pour en déduire les paramètres caractérisant la trajectoire du mobile dans un repère spatial choisi.

Selon une réalisation dans laquelle les capteurs sont des radars Doppler émettant de manière continue dans une direction choisie à des fréquences différentes et constantes, le dispositif de traitement comprend des moyens de traitement aptes à exploiter l'évolution au cours du temps de l'écart de phase
5 entre l'onde émise par chaque capteur et l'onde réfléchie par le mobile.

En pratique, le dispositif de traitement comprend des moyens d'échantillonnage et des moyens de filtrage numérique de type filtre de Kalman.

10 Avantageusement, le dispositif de détermination de trajectoire comprend une plate-forme matérielle et logicielle adaptée pour un fonctionnement en temps réel.

Afin d'optimiser les temps de traitement et l'exploitation des ressources
15 internes, le dispositif de traitement comprend pour chaque capteur un processeur de signal numérique du type DSP programmé selon un langage bas niveau de type assembleur sur structure parallèle.

Une optimisation poussée de l'algorithme de traitement ainsi que la mise en
20 œuvre de techniques spécifiques de réduction de calculs, de méthode d'échantillonnage, de plates-formes matérielle et logicielle, permettent une utilisation du système en temps réel. Cette optimisation est particulièrement adaptée au traitement de mobiles très rapides (projectiles à 2000 m/s).

25 Selon une réalisation, le traitement comprend en outre un test apte à vérifier la non convergence du filtre de KALMAN et/ou un test de validation de la détermination des coefficients.

La présente invention a également pour objet un système de détermination de
30 trajectoires dans plusieurs zones comprenant une pluralité de dispositifs de détermination de trajectoires disposés les uns par rapport aux autres selon une relation géométrique choisie et affectés chacun à une zone choisie.

Le faible coût unitaire d'un dispositif de détermination de trajectoires (capteur et traitement) rend un tel système à plusieurs dispositifs relativement compétitif dans le cas de détection multi-zones par rapport à un radar évolué de type impulsif à balayage séquentiel.

5

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lumière de la description détaillée ci-après et des dessins dans lesquels :

- 10 - la figure 1 représente schématiquement un véhicule à blindage actif équipé d'un dispositif de détermination de trajectoire de projectiles selon l'invention ;
- la figure 2 représente schématiquement les éléments constitutifs (capteur et traitement) du dispositif de détermination de trajectoires selon l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique illustrant la détermination de
15 la trajectoire dans un plan selon l'invention ; et
- les figures 4 et 5 sont des représentations schématiques illustrant la décomposition du problème spatial en trois sous problèmes planaires selon l'invention.

- 20 En référence à la figure 1, un véhicule blindé VB est équipé d'un blindage actif pour se protéger de la menace d'un projectile perforant B.

Le blindage actif comprend des moyens aptes à mettre en œuvre une détection DE, une identification ID, une localisation LO et une interception IN du
25 projectile B.

L'interception IN peut être passive ou active (tir d'un élément de contre mesure TI destiné à intercepter le projectile avant impact sur le véhicule).

- 30 La localisation du projectile comprend la détermination de paramètres qui définissent la trajectoire du projectile.

Comme on le verra plus en détail ci-après, l'invention permet la détermination des paramètres X_0 , Y_0 , V_0 dans le cas de la définition de la trajectoire dans un repère plan et des paramètres X_0 , Y_0 , Z_0 , V_0 , α , et β dans le cas de la définition de la trajectoire dans un repère spatial.

5

La détermination de ces paramètres repose sur des mesures de la vitesse apparente du projectile ou mobile B.

La mesure de la vitesse apparente peut être effectuée par un unique capteur dans le cas du problème planaire et par deux ou trois capteurs dans le cas du problème spatial.

10

Dans le cas du blindage actif, la mesure de la vitesse apparente est effectuée par des radars Doppler rudimentaires et bon marché.

15

En variante, les capteurs sont des vélocimètres laser ou analogues.

En référence à la figure 2, la détermination des trajectoires des projectiles B dans le domaine spatial est fondée sur deux capteurs R de type radar Doppler qui captent et délivrent des informations relatives à la vitesse apparente du mobile B.

20

Les deux radars Doppler R1 et R2 émettent de manière continue dans une même direction choisie. Les fréquences d'émission des radars sont différentes et constantes.

25

Les informations relatives à la vitesse apparente du mobile ainsi captées par les radars R1 et R2 sont traitées par des moyens de traitement comprenant un banc d'échantillonnage E et de filtrage F pour chaque capteur. Ainsi les informations issues du capteur R1 sont échantillonnées par le dispositif d'échantillonnage 1 et filtrées par le filtre F1 tandis que les informations issues du capteur R2 sont échantillonnées par le dispositif d'échantillonnage E2 et filtrées par le filtre F2.

30

En pratique, un seul capteur R est nécessaire pour résoudre le problème au niveau d'un repère plan. Trois capteurs sont théoriquement indispensables pour déterminer la trajectoire dans un repère spatial, mais le demandeur a observé qu'une connaissance des conditions particulières d'utilisation du procédé
5 permet de réduire le nombre de ces capteurs au nombre de deux.

Les capteurs R sont installés sur le véhicule blindé VB selon une relation géométrique prédéterminée permettant de ramener l'analyse spatiale à deux problèmes indépendants dans le plan. La résolution de chaque problème plan
10 est assurée par un capteur R et un traitement E et F.

La figure 3 illustre la résolution du problème planaire.

La trajectoire du mobile B est assimilable à une trajectoire rectiligne pendant
15 toute la durée de la mesure. La vitesse du projectile est assimilable à une vitesse constante pendant toute la durée de la mesure.

Les paramètres recherchés sont relatifs à un repère plan, orthonormé dont l'origine est le point de mesure R et dont l'abscisse X est liée au vecteur
20 vitesse V.

L'expression de la phase d'un radar Doppler est fonction des coordonnées X0, Y0 et V0 du projectile B dans ce plan, associées à une date T0.

25 A l'instant où le dispositif de filtrage délivre sa réponse, le projectile B se trouve à l'abscisse :

$$X = X_0 - V_0 (t - t_0) \quad (\text{on prend } t_0 = 0)$$

On appelle ici la vitesse apparente la vitesse d'approche du projectile B par
30 rapport au point de mesure R. Cette vitesse apparente est aussi la vitesse mesurée par un radar Doppler R.

La vitesse apparente est définie ainsi : $V = V_0 \cos(\alpha)$.

Les spécifications précédentes entraînent que la vitesse $V(t)$ correspond à la formule suivante :

$$v(t) = v_0 \frac{1 - \frac{v_0}{x_0} t}{\sqrt{\left(1 - \frac{v_0}{x_0} t\right)^2 + \left(\frac{y_0}{x_0}\right)^2}}$$

- 5 Les figures 4 et 5 illustrent la résolution du problème spatial.

Le Demandeur a observé que la portée du procédé peut être étendu au domaine spatial en associant trois problèmes planaires et des formules permettant de déduire les paramètres de la trajectoire.

10

Les trois radars Doppler R, individualisés en R1, R2, et R3 émettent chacun une onde électromagnétique de manière continue et dans une même direction choisie.

- 15 Les radars Doppler R sont installés sur un véhicule blindé (non représenté) pour lequel on souhaite intercepter un projectile B à l'aide d'une plaque PL avant que le projectile B n'atteigne sa cible.

La croix IM désigne le point d'impact du projectile B sur la plaque PL du blindé.

20

Les radars R fonctionnent selon l'effet Doppler et permettent de mesurer une vitesse d'approche.

- 25 Les trois radars R sont disposés les uns par rapport aux autres selon une relation géométrique choisie.

Le problème spatial est décomposé en trois sous problèmes planaires qui peuvent être traités indépendamment.

Pour simplifier le traitement du signal, les radars R sont placés de telle sorte que le traitement de chaque radar se limite à la détermination de trois paramètres X_i , Y_i et la vitesse V du projectile (avec i variant de 1 à 3).

- 5 Avantageusement, les trois radars R sont disposés dans le même plan XOY.

On place les radars R2 et R3 à la même abscisse X. Le radar R1 est placé à l'origine du repère attaché à la cible. Le radar R2 est sur l'axe OX et le radar R3 est dans le plan XOY.

10

Ainsi, en choisissant $R1=(0,0,0)$, $R2=(0,A,0)$, $R3=(0,0,A)$ et en posant :

$$d_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$$

on obtient :

15

$$X_p = \frac{d_1^2 - d_2^2 + A^2}{2A}$$

$$Y_p = \frac{d_1^2 - d_3^2 + A^2}{2A}$$

20

$$Z_p = \sqrt{d_1^2 - X_p^2 - Y_p^2}$$

(α et β sont déterminés en calculant X_p , Y_p , Z_p à $T>0 \Rightarrow$ équation de la droite).

- 25 Les informations d'entrée des moyens de traitement (échantillonnage E et filtrage F, figure 2) sont relatives à la vitesse apparente ou vitesse d'approche du projectile par rapport aux radars R.

- 30 Chaque filtre F peut exploiter des échantillons $V(t)$ ou toute grandeur linéairement liée à $V(t)$ ou de toute grandeur linéairement liée à l'intégrale de $V(t)$.

Par exemple, on utilise directement des échantillons de la phase du signal de sortie du radar Doppler, qui sont proportionnels à l'intégrale de $V(t)$.

Le principe d'échantillonnage utilisé consiste à détecter chaque passage à zéro
5 du signal de sortie du radar R.

Un passage à zéro signifie que la phase a augmenté de π par rapport au dernier échantillon. la phase est incrémentée alors de la même valeur, et le temps est enregistré.

10

Il s'agit d'un échantillonnage de temps à phase constante, ce qui est équivalent à un échantillonnage de phase à temps constant.

La méthode d'échantillonnage est ici d'une extrême simplicité. Il n'y a pas de
15 conversion analogique/numérique. De plus la méthode élimine toutes les difficultés liées à la fluctuation d'amplitude du signal de sortie. (problème classique lors de l'exploitation d'un signal radar).

Le traitement est ici de caractériser le signal de phase, autrement dit le signal
20 correspondant à l'intégrale de la vitesse apparente en fonction du temps, qui dépend des paramètres de la trajectoire X_0 , Y_0 , V_0 .

Cette caractérisation consiste à déterminer les coefficients du polynôme $P(t)$ de manière à obtenir la meilleure approximation du signal de phase.

25

$$\varphi(t) = kx_0 \left(\sqrt{1 + \frac{y_0^2}{x_0^2}} - \sqrt{\left(1 - \frac{v_0}{x_0}t\right)^2 + \frac{y_0^2}{x_0^2}} \right) \quad P(t) = \sum_{i=0}^5 C_i t^i$$

Caractériser la phase signifie ici trouver les meilleurs C_i de telle sorte que :

30 $P(t) \sim \varphi(t)$

Cette relation étant supposée établie, on peut en déduire :

$$\dot{V}_0 = \frac{1}{k} C_1 \sqrt{\frac{1-U^2}{1-\delta^2}} \quad X = \frac{V_0 t}{1-U} \quad Y = X \sqrt{\frac{\delta^2 - U^2}{1-\delta^2}}$$

avec :

$$5 \quad P'(t) = \frac{dP(t)}{dt} = \sum_{i=1}^5 i.t^{i-1} \quad \delta(t) = \frac{C_1 t - P(t)}{P(t) - P'(t).t} \quad U(t) = \frac{t - \frac{P(t)}{C_1}}{\frac{P(t)}{P'(t)} - t}$$

Le principe utilisé ici pour déterminer les coefficients en temps réel est celui d'un filtre numérique reposant sur la méthode de Kalman. Ce filtre va permettre de déterminer les coefficients recherchés C_i à partir des échantillons de mesure.

10

L'algorithme est le suivant :

```

% paramètres
k=440;      % constante du radar
15 lock_time=150; % nombre de cycles avant de tester l'erreur
error_max=1; % erreur maximale admissible
capture=300; % décision de capture
br=1;      % bruit

20 % variables
Xo=[0;800;0;0;0;0]; % vecteur d'état
X=Xo;
delta=1000;
Pf_ini=[ delta*100  0  0  0  0  0 ;...
25      0  delta  0  0  0  0 ;...
        0  0  delta  0  0  0 ;...
        0  0  0  delta  0  0 ;...
        0  0  0  0  delta  0 ;...
        0  0  0  0  0  delta];

30 %initialisation des variables
Pf=Pf_ini; % matrice de covariance
R=br;     % bruit de mesure
z=0;     % phase
35 cycles=0; % nombre de cycles
ti=0;    % initialise le temps initial

fid = fopen('c:\DSP\Data\mesures.dat','r');
```

```

while(cycles<capture+1 & n<900)

%incrémente la phase de pi
    z=z+pi;
5 % date de passage à zéro
    t=fscanf(fid,'%f',1);

%*****
% Filtre de Kalman
10 % calcul le temps relatif = temps réel - temps dernière initialisation
    tr=t-ti;

% calcul de H
15 H=[1 tr tr^2 tr^3 tr^4 tr^5];

% gain de Kalman
    a=(H*(Pf*H') + R)^-1;
    K=Pf*H*a;
20 % estimation de la position de l'état i
    error = z-H*X;

% mise à jour de X
25 X=X + K*error;

% calcule la matrice de covariance de l'état présent
    P=Pf-(H*Pf)*(H*Pf)*a;

30 % reset si erreur trop grande
    if(abs(error)>error_max & capture>cycles & cycles>lock_time)
        Pf=Pf_ini;
        cycles=0;
        X=Xo;
35 z=0;
        ti=t
    end

40 %*****
% determination de la position et de la vitesse
    if(cycles==capture)
        [xo_k,yo_k,vo_k]=position(X,tr,k)
    end

45 cycles=cycles+1;
end

```

L'algorithme est ici écrit dans le langage matlab.

Par rapport à un filtre standard, l'algorithme comprend en outre un test servant à réinitialiser le filtre en cas de non convergence et un test décidant de la validité des résultats obtenus.

- 5 Ces deux tests permettent d'une part d'utiliser le filtre en condition réelles (réinitialisation en cas d'absence de signal exploitable) et d'autre part de décider spontanément de l'arrêt de la mesure pour délivrer les résultats.

Le filtre de Kalman est une méthode générale.

10

La spécification particulière des éléments (X, H, Pf, R) est propre à l'application.

La méthode de Kalman comprend tout d'abord une initialisation des variables :

- 15
- $P_{00} = E[(X_0 - \hat{X}_0)(X_0 - \hat{X}_0)^T]$
 - $\hat{X}_0 = E[X_0]$

La méthode de Kalman comprend ensuite une boucle de calcul :

- 20
- $\hat{X}_{k/k-1} = \Phi_{kk-1} \hat{X}_{k-1/k-1} + F_{k-1}$
 - $P_{k/k-1} = \Phi_{kk-1} P_{k-1/k-1} \Phi_{kk-1}^T$
 - $K_k = P_{k/k-1} H_k^T [H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k]^{-1}$
 - $Err = Z - H_k \hat{X}_{k/k-1}$
 - $\hat{X}_{k/k} = \hat{X}_{k/k-1} + K Err$

- 25 L'application impose un traitement en temps réel des échantillons ainsi que des délais extrêmement brefs (<2µs).

De telles contraintes nécessitent des moyens de traitement appropriés.

Le Demandeur a observé que l'écriture immédiate de l'algorithme comporte des redondances de calculs qui consomment inutilement du temps de traitement.

Un agencement particulier des opérations permet de réduire substantiellement
5 le nombre d'opérations à effectuer.

On constate que l'étape la plus coûteuse est le calcul de la matrice de covariance : $P_f = P_f - K.H.P_f$

10 On peut alors développer K : $K = P_f.H^t.a$, d'où : $P_f = P_f - P_f.H^t.H.P_f.a$.

En exploitant la symétrie de P_f : $P_f = P_f^t$ on peut donc écrire : $P_f = P_f - P_f.H^t.H.P_f^t.a$
soit : $P_f = P_f - (P_f.H^t).(P_f.H^t)^t.a$

15 Cette nouvelle écriture du calcul de P_f permet de réduire considérablement la complexité arithmétique car elle réutilise des éléments déjà calculés : ' $P_f.H^t$ ' et ' a '.

Calcul	Multiplications	Additions	Comparaisons	Total
$H = [1 \ t \ t^2 \ t^3 \ t^4 \ t^5]$	4	0	0	4
$P_f.H^t \Rightarrow P_f.H_t$	36	30	0	66
$H.P_f.H_t \Rightarrow H.P_f.H_t$	6	5	0	11
$1/(H.P_f.H_t + R) \Rightarrow a$	7	5	0	12
$P_f.H_t.a \Rightarrow K$	6	0	0	6
$H.X \Rightarrow H.X$	6	5	0	11
$z-H.X \Rightarrow \text{error}$	0	1	0	1
$K.\text{error} \Rightarrow C$	6	0	0	6
$X=X+C$	0	6	0	6
$(P_f.H^t).(P_f.H^t)^t.a \Rightarrow \text{prod}$	42	0	0	42
$P_f-\text{prod} \Rightarrow P_f$	0	36	0	36
erreur > erreur max ?	0	0	1	1
Capture ?	0	0	1	1
Boucle Kalman	113	88	2	203

20 La réécriture des calculs offre un gain en complexité d'au moins un facteur 3.

Le traitement est réalisé à partir de processeurs de traitement du signal DSP (Digital Signal Processor) qui présentent des avantages tels que la vitesse de cadencement du processeur, l'architecture parallèle interne permettant d'exécuter en parallèle plusieurs instructions en un seul coup d'horloge.

5

Il est actuellement possible de traiter des échantillons à la cadence d'environ 1ech/ μ s, de telles performances ont été obtenues au prix d'une programmation assembleur, langage de bas niveau, en tenant compte des spécificités du processeur et surtout de sa structure interne.

10

Les processeurs DSP sont par exemple du type ADSP21160 ou TigerSHARC d'Analog Devices, ou tout autre DSP.

Dans la mesure où la puissance de traitement des processeurs évoluerait de manière significative, il pourrait être envisagé de changer de familles de processeurs RISC, CISC.

15

Bien évidemment, les modes de réalisation illustrés n'ont été donnés qu'à titre d'exemples et ne sont absolument pas limitatifs de l'ensemble des solutions pouvant être mise en œuvre grâce à la présente invention.

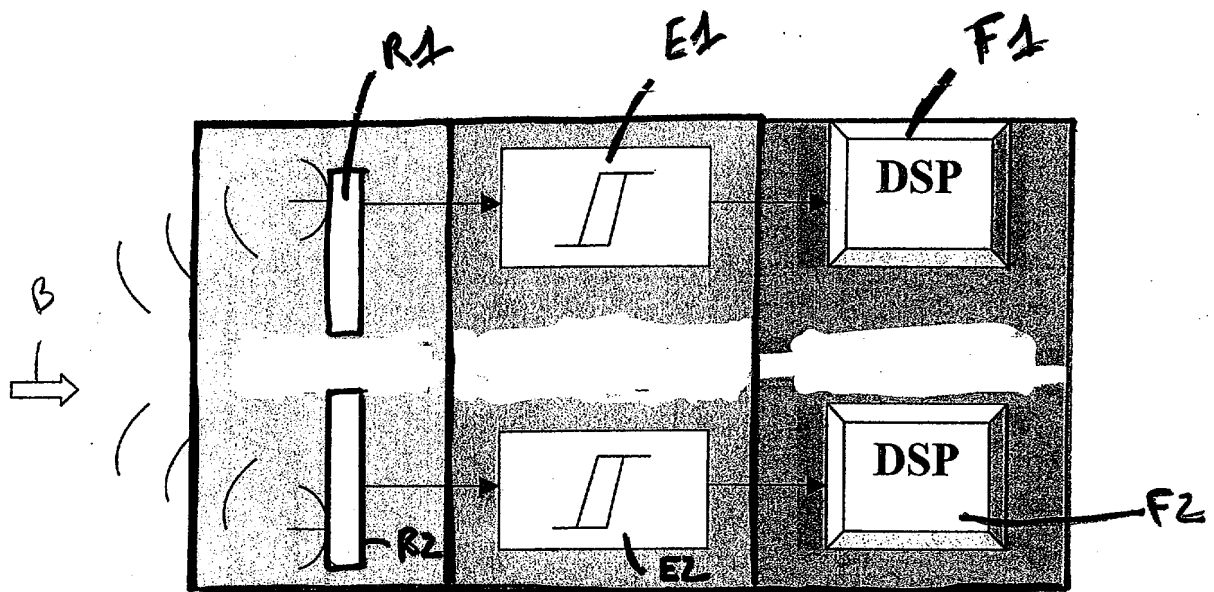
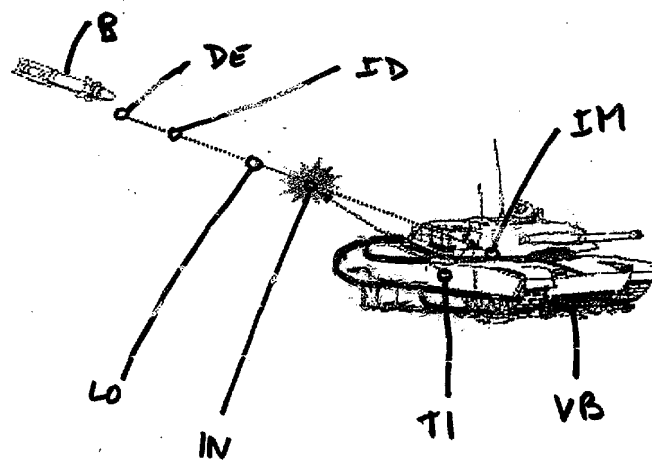
20

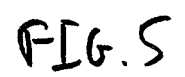
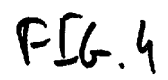
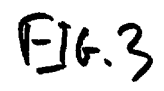
REVENDEICATIONS

1. Procédé pour déterminer la trajectoire d'un mobile (B) comprenant les étapes suivantes :
 - 5 - i) prévoir au moins un capteur (R1, R2, R3), apte à capter et délivrer des informations relatives à la vitesse apparente du mobile (B), et un dispositif de traitement (E1, F1, E2, F2),
 - ii) dans une direction choisie et pendant une durée choisie, capter et recevoir des informations relatives à la vitesse apparente du mobile, et
 - 10 - iii) recevoir et traiter les informations ainsi captées afin d'en déduire des paramètres caractérisant au moins la trajectoire du mobile dans un repère plan choisi.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est prévu de
15 disposer au moins deux ou trois capteurs (R1, R2, R3) les uns par rapport aux autres selon une relation géométrique prédéterminée et de traiter les informations relatives à la vitesse apparente du mobile ainsi captées par lesdits capteurs dans une direction choisie et pendant une durée choisie, pour en déduire des paramètres caractérisant la trajectoire du mobile dans
20 un repère spatial choisi.
3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel le ou les capteurs sont des radars Doppler (R1, R2, R3) émettant de manière continue dans une direction choisie à des fréquences différentes et
25 constantes, caractérisé en ce que l'étape de traitement exploite l'évolution de l'écart de phase entre l'onde émise par chaque capteur et l'onde réfléchie par le mobile.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'étape de
30 traitement comprend une approximation de ladite fonction d'évolution de l'écart de phase par un polynôme fonction du temps.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que les coefficients du polynôme sont déterminés à partir d'un filtrage numérique du type filtre de KALMAN.
- 5 6. Dispositif pour déterminer la trajectoire d'un mobile (B) pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un capteur (R1, R2, R3) apte à capter et délivrer des informations relatives à la vitesse apparente du mobile, et un dispositif de traitement (E1, F1, E2, F2) aptes à recevoir et traiter les informations
10 relatives à la vitesse apparente du mobile ainsi captées dans une direction choisie et pendant une durée choisie, afin d'en déduire les paramètres caractérisant au moins la trajectoire du mobile dans un repère plan choisi.
7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend au
15 moins deux ou trois capteurs (R1, R2, R3) disposés les uns par rapport aux autres selon une relation géométrique prédéterminée et en ce que le dispositif de traitement (E1, F1, E2, F2) est apte à traiter les informations relatives à la vitesse apparente du mobile émanant de chaque capteur pour en déduire les paramètres caractérisant la trajectoire du mobile dans un
20 repère spatial choisi.
8. Dispositif selon la revendication 6 ou la revendication 7, caractérisé en ce que le ou les capteurs sont des radars Doppler (R1, R2, R3) émettant de manière continue dans une direction choisie à des fréquences différentes et
25 constantes, et en ce que le dispositif de traitement est apte à exploiter l'évolution au cours du temps de l'écart de phase entre l'onde émise par chaque capteur et l'onde réfléchie par le mobile.
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce
30 que le dispositif de traitement comprend des moyens d'échantillonnage (E1, E2) et des moyens de filtrage numérique (F1, F2) de type filtre de Kalman.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que ledit dispositif de détermination de trajectoire comprend une plate-forme matérielle et logicielle adaptée pour un fonctionnement en temps réel.
- 5 11. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 10, caractérisé en ce que le dispositif de traitement comprend pour chaque capteur un processeur de signal numérique du type DSP programmé selon un langage bas niveau de type assembleur sur structure parallèle.
- 10 12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que le dispositif de traitement comprend un algorithme de traitement de type filtre de kalman et en outre un test apte à vérifier la non convergence du filtre de KALMAN et/ou un test de validation de la détermination des coefficients.
- 15 13. Système de détermination de trajectoires multi-zones, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de dispositif de détermination de trajectoires selon l'une des revendications 6 à 11, répartis les uns par rapport aux autres selon une relation géométrique choisie et affectés chacun à une zone choisie.







RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 633420
FR 0302088

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	DE 40 08 395 A (TELEFUNKEN SYSTEMTECHNIK) 19 septembre 1991 (1991-09-19)	1,2,6,7, 10,11,13	G01S13/32 F41H13/00
Y	* le document en entier *	3,4,8	
X	DE 196 38 387 A (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG) 26 mars 1998 (1998-03-26)	1,2,6,7	
X	US 6 498 580 B1 (BRADFORD BERT L) 24 décembre 2002 (2002-12-24)	1,6,9	
	* abrégé; figure 1 *		
	* colonne 2, ligne 44 - ligne 54 *		
	* colonne 6, ligne 5 - ligne 34 *		
Y	GB 1 571 379 A (MICROWAVE & ELECTRONIC SYSTEMS) 16 juillet 1980 (1980-07-16)	3,4,8	
	* page 5, ligne 8 - page 6, ligne 58; figures 6,7 *		
A	EP 0 687 885 A (K BJURO MASH) 20 décembre 1995 (1995-12-20)	1,6	
	* figure 1 *		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 octobre 2003		Niemeijer, R	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0302088 FA 633420

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 29-10-2003
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 4008395	A	19-09-1991	DE 4008395 A1	19-09-1991
DE 19638387	A	26-03-1998	DE 19638387 A1	26-03-1998
US 6498580	B1	24-12-2002	AUCUN	
GB 1571379	A	16-07-1980	AUCUN	
EP 0687885	A	20-12-1995	WO 9515473 A1	08-06-1995
			DE 69321142 D1	22-10-1998
			DE 69321142 T2	25-02-1999
			EP 0687885 A1	20-12-1995
			RU 2102678 C1	20-01-1998