

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 432 958 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
30.08.2006 Bulletin 2006/35

(51) Int Cl.:
F41G 7/00 (2006.01) F41G 7/22 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **02783193.2**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2002/003240

(22) Date de dépôt: **23.09.2002**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2003/027599 (03.04.2003 Gazette 2003/14)

(54) **PROCEDE DE GUIDAGE D'UNE ROQUETTE**

LENKUNGSVERFAHREN FÜR FLUGKÖRPERWAFFENSYSTEM

METHOD FOR GUIDING A ROCKET

(84) Etats contractants désignés:
DE GB IT SE

(72) Inventeur: **BROEKAERT, Michel**
F-78620 L'Etang La Ville (FR)

(30) Priorité: **25.09.2001 FR 0112330**

(74) Mandataire: **Bloch, Gérard et al**
2, square de l'Avenue du Bois
75116 Paris (FR)

(43) Date de publication de la demande:
30.06.2004 Bulletin 2004/27

(73) Titulaire: **SAGEM S.A.**
75015 Paris (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 777 100 DE-A- 3 334 729
US-A- 3 986 682

EP 1 432 958 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] L'invention concerne le guidage des roquettes.

[0002] Une roquette est une petite fusée, sans guidage. On l'utilise souvent dans la lutte anti-chars et elle peut être lancée d'un engin terrestre, maritime ou aérien, par exemple d'un avion ou d'un hélicoptère. Toutefois, l'invention s'applique tout aussi bien aux missiles et quand on parlera dans le texte de roquettes, il faudra prendre le terme dans son sens général et considérer qu'on couvre également des missiles.

[0003] La précision d'une roquette n'est pas très grande. Mais elle est en plus affectée, en cas de tir d'hélicoptère, par le vent des pales qui provoque une déviation de trajectoire.

[0004] Avant de lancer une roquette, un opérateur acquiert d'abord la cible dans son viseur, il l'identifie, il la suit, pour connaître sa vitesse angulaire, puis il la télémètre, pour connaître sa distance et finalement connaître la position de la cible dans son repère. Avec ces données et un modèle de vol de l'engin, le calculateur de tir élabore un but futur matérialisé par un réticule dans le viseur.

[0005] On rappellera que de nombreux missiles sont équipés de moyens d'autoguidage, c'est-à-dire d'un système d'écartométrie destiné, en fonction du résultat de la comparaison entre les images de la cible de référence et les images capturées en vol par un dispositif d'imagerie, à actionner des gouvernes ou des fusées directionnelles de correction de trajectoire.

Les documents EP 0, 777, 100 et DE 33, 34, 729 divulguent un procédé de guidage d'une roquette sur une cible dans lequel, la roquette étant équipée de moyens d'auto-guidage à dispositif d'imagerie et moyens de correction de trajectoire,

- on acquiert la cible par un dispositif de visée et on détermine sa position,
- on harmonise le dispositif de visée et le dispositif d'imagerie de la roquette,
- on stabilise les images du dispositif d'imagerie de la roquette,
- on élabore une loi de guidage,
- on lance la roquette et
- on guide la roquette selon cette loi jusqu'à ce qu'elle acquiert elle-même la cible.

[0006] La présente demande vise à parfaire la précision des roquettes et, à cet effet, elle concerne un procédé selon la revendication 1.

[0007] On notera que l'harmonisation des deux dispositifs de visée et d'imagerie, du lanceur et de la roquette peut s'effectuer de façon tout-à-fait simple, d'abord par harmonisation des axes de visée et de prise de vues, respectivement, puis, par calcul de l'image du viseur du lanceur dans le repère du dispositif d'imagerie de la roquette.

[0008] On notera aussi que la stabilisation des images du dispositif d'imagerie de la roquette permet au moins de palier les inconvénients du lanceur avant le lancement et donc de stabiliser ces images dans le paysage absolu de la cible.

[0009] Dans une mise en oeuvre particulière du procédé de l'invention, avant le lancement, on élabore une loi de guidage initiale et la roquette est guidée jusqu'à ce qu'elle acquiert la cible selon cette loi initiale.

[0010] Mais, de préférence, avant le lancement, on élabore une loi de guidage initiale et, après le lancement, on élabore une loi de guidage continûment variable et de correction de trajectoire jusqu'à ce que la roquette acquiert la cible.

[0011] De préférence encore, pour harmoniser le dispositif de visée et le dispositif d'imagerie de la roquette, on procède à une harmonisation électronique selon laquelle, dans un référentiel terrestre, on filtre les images de la scène prises aux mêmes instants par les deux dispositifs dans un filtre passe-bas, pour n'en retenir que les basses fréquences spatiales, et on résout l'équation du flot optique entre ces paires d'images respectives des deux dispositifs pour déterminer les rotations et la variation du rapport des paramètres de zoom respectifs à faire subir à ces images pour les harmoniser les unes sur les autres.

[0012] Conformément à l'invention, on stabilise les images du dispositif d'imagerie de la roquette dans un référentiel terrestre, sur le paysage, même si une stabilisation par centrale inertielle reste toujours possible.

[0013] Il est avantageux, dans ce référentiel terrestre, de filtrer les images de la scène prises par le dispositif d'imagerie, dans un filtre passe-bas, pour n'en retenir que les basses fréquences spatiales, et de résoudre l'équation du flot optique pour déterminer les rotations à faire subir aux images pour les stabiliser sur les images précédentes.

[0014] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante, en référence au dessin annexé, sur lequel

- la figure 1 est une vue en coupe axiale schématisée d'une roquette équipée de moyens d'auto-guidage à dispositif d'imagerie et moyens de correction de trajectoire ;
- la figure 2 est une représentation par blocs des moyens fonctionnels électriques, électroniques et optiques de la roquette de la figure 1 ;
- la figure 3 illustre la géométrie du mouvement d'une caméra de prise de vues ;
- la figure 4 est un schéma fonctionnel du dispositif d'imagerie de la roquette permettant la mise en oeuvre de la stabilisation électronique de ses images et l'harmonisation avec le dispositif de visée ;

- la figure 5 est une représentation de l'image du dispositif d'imagerie de la roquette montrant les divers champs de prise de vues et
- la figure 6 est une vue schématique illustrant le procédé de guidage de roquette sur une cible à partir d'un hélicoptère.

[0015] La roquette comporte un corps 1, dont on n'a représenté que la partie avant, la partie arrière comprenant la charge utile et les organes de correction de trajectoire, qui peuvent être des gouvernes ou des petites fusées directionnelles, et un nez 2, recouvert d'une coiffe 3. La coiffe 3 porte une première lentille qui fait office de hublot aérodynamique et qui focalise l'image sur le détecteur à l'aide du reste de l'optique dont il est question ci-après. La coiffe 3 porte une première lentille qui fait office de hublot aérodynamique et qui focalise l'image sur le détecteur à l'aide du reste de l'optique dont il est question ci-après. La roquette est une roquette spinnée à auto-directeur, en partie dans le nez, en partie dans le corps, comme on le verra ci-après, mais dont le nez 2 et le corps 1 sont découplés en rotation, le nez 2 portant, par l'intermédiaire d'un arbre creux 4, un volant d'inertie 5 disposé dans le corps 1 créant un spin différentiel entre le nez 2 et le corps 1, de sorte que le nez 2 n'est entraîné en rotation que très lentement si ce n'est pas du tout.

[0016] L'arbre creux 4 s'étend donc de part et d'autre du plan de joint 6 entre le nez 2 et le corps 1, dans des paliers à roulements 7 et 8 respectivement dans l'une 2 et l'autre partie 1 de la roquette.

[0017] L'auto-directeur de la roquette comporte, dans le nez 2, derrière la coiffe 3 et une optique fixe 9, un dispositif d'imagerie 10 et dans le corps 1, un équipement 11 de correction de trajectoire commandé par le dispositif 10.

[0018] L'équipement 11 assure également, après lancement, la comparaison de l'image prise par le dispositif d'imagerie 10 avec les images grand champ et petit champ mémorisées de la scène prises, avant le lancement, avec le dispositif de visée du porteur dont il sera question ci-après.

[0019] Le dispositif d'imagerie 10 comprend un organe de prise de vues 13, avec ses circuits électroniques de proximité classiques 14, un convertisseur analogique - numérique 15 et un composant de transmission d'images 16. Le dispositif 10 est alimenté, depuis le corps de la roquette et à travers l'arbre creux 4, par une batterie rechargeable 12. L'organe de prise de vues 13 peut être une caméra ou appareil vidéo ou infra-rouge. Le composant de transmission 16 peut être une diode laser ou une LED (diode électroluminescente). Ce composant 16 peut être disposé dans le dispositif d'imagerie 10 et alors, la transmission d'images à travers l'arbre creux 4 et le volant d'inertie 5 s'effectue par fibre optique 17 s'étendant le long de l'axe de roulis 30 de l'engin. Mais le composant de transmission d'images 22 peut être disposé dans le volet d'inertie 5, en face d'une diode 24 réceptrice des images transmises et alors la transmission du signal entre le dispositif d'imagerie 10 et le composant 22 s'effectue par fils à travers l'arbre creux 4. Le dispositif d'imagerie est refroidi par effet Peltier, si nécessaire.

[0020] Le volant d'inertie 5, symbolisé sur la figure 2 par les deux traits en tirets verticaux, porte le secondaire 19 d'un transformateur 18 de couplage d'alimentation en énergie du nez 2 de la roquette relié à la batterie 12, une roue 20 d'un codeur optique 21 et une diode laser 22, ou une LED, selon le cas, de transmission dans le corps 1 de la roquette des images du dispositif 10.

[0021] L'équipement de correction de trajectoire 11 du corps de la roquette comporte l'émetteur-récepteur 23 du codeur optique 21, la diode 24 réceptrice des images transmises, le primaire 25 du transformateur 18, avec sa source 26, et des circuits 27 de traitement des images reçues et de guidage et de commande des gouvernes 28 de la roquette, reliés à la diode réceptrice 24 et à l'émetteur-récepteur 23 du codeur 21. Les circuits 27 incluent un calculateur de bord.

[0022] Le codeur 21 indique la position angulaire relative entre le dispositif d'imagerie 10 et le corps 1 de la roquette. Le guidage de la roquette s'effectue à l'aide du calculateur des circuits 27, en fonction de cette position angulaire et de la comparaison entre les images reçues du dispositif d'imagerie et stabilisées dans les circuits 27 et des images mémorisées préalablement fournies par exemple par un viseur.

[0023] Les commandes de guidage sont appliquées en synchronisme avec la rotation propre de la roquette compte-tenu aussi de l'endroit où est située la gouverne.

[0024] Avant le lancement de la roquette, l'opérateur, à l'aide d'un dispositif de visée, prend une image grand champ 52 de la scène, qui est mémorisée, et qui servira, s'agissant de basses fréquences spatiales, à déterminer la direction approximative de la cible (figure 5). Il prend également une image petit champ 53 qui est aussi mémorisée.

[0025] En référence à la figure 5, la vue d'ensemble est une vue 50 grand champ de navigation, avec, à l'intérieur, une vue 51 grand champ de l'auto-directeur de la roquette, puis une vue 52 grand champ puis, encore plus à l'intérieur, une vue 53 petit champ.

[0026] En référence à la figure 6, on a illustré l'exemple d'un opérateur, qui se trouve dans un hélicoptère 60 équipé, sur chacun de ses deux flancs, d'une roquette 1, 2, à guider sur la cible à atteindre constituée en l'espèce d'un char 61. On a représenté, sur cette figure 6, un dispositif de visée 62 et un calculateur de tir 63 de l'hélicoptère ainsi que l'angle de champ θ de l'auto-directeur de la roquette de droite, correspondant à la vue 51, et l'angle de petit champ ν du dispositif de visée 62 de l'hélicoptère, correspondant à la vue 53, angles dans lesquels se trouve le char 61.

[0027] Ainsi, l'opérateur de conduite de tir, tireur de l'hélicoptère 60, commence par acquérir la cible 61 à l'aide de son dispositif de visée 62, c'est-à-dire qu'il procède à la détermination de la position, de la distance et de la vitesse de la cible 61 qui lui permettront ultérieurement, en combinaison avec un modèle de vol et à l'aide du calculateur de tir 63,

à élaborer une loi de guidage, ou de commande, initiale. Pendant ce temps, le pilote de l'hélicoptère ramène au mieux l'axe de l'hélicoptère dans la direction visée par le tireur grâce à un répéteur.

[0028] Après acquisition de la cible 61 et de sa désignation par l'opérateur, le calculateur de bord, procède à l'harmonisation du dispositif de visée 62 et du dispositif d'imagerie 10 de la roquette puis à la stabilisation des images du dispositif d'imagerie de la roquette, avant d'élaborer la loi de guidage optimale de la roquette.

[0029] Pour des raisons qui apparaîtront clairement après, on procèdera d'abord à la description de l'étape de stabilisation des images du dispositif d'imagerie de la roquette.

[0030] Considérons la caméra d'observation et de guidage 13 de la roquette de la figure 1. Ce peut être une caméra vidéo ou une caméra infra-rouge.

[0031] Si la scène est stationnaire, les points de la scène vus par la caméra entre deux images sont reliés par la trajectoire du porteur.

[0032] Les coordonnées cartésiennes de la scène dans le repère du porteur sont $P = (x, y, z)'$, l'origine est le centre de gravité du porteur, avec l'axe z orienté selon l'axe de roulis principal, l'axe x correspond à l'axe de lacet et l'axe y à l'axe de tangage.

[0033] La caméra est dans un système de coordonnées Cartésien ou Polaire à trois dimensions avec l'origine placée sur la lentille frontale de la caméra et l'axe z dirigé le long de la direction de visée.

[0034] La position de la caméra par rapport au centre de gravité du porteur est définie par trois rotations (ab, vc, gc) et trois translations (Txc, Tyc, Tzc). Le rapport entre les coordonnées 3D de la caméra et celles du porteur est :

$$(x', y', z')' = R(ac, bc, gc) * (x, y, z)' + T(Txc, Tyc, Tzc)$$

où

- R est une matrice 3 x 3 de rotation,
- T est une matrice 1 x 3 de translation.

[0035] La trajectoire du centre de gravité est caractéristique de l'évolution de l'état du système et peut être décrite par le système d'équations différentielles

$$\dot{x}(t) = F(t).x(t) + u(t) + v(t)$$

x = vecteur d'état de dimension n

F(t) = matrice fonction de t, de dimension n u = vecteur d'entrée fonction de t connu

v = bruit blanc gaussien à n dimensions

[0036] L'état du système est lui même observé à l'aide de la caméra et la résolution de l'équation du flot optique, par m mesures z(t) liées à l'état x par l'équation d'observation :

$$z(t) = H(t).x(t) + w(t)$$

où H(t) est une matrice m x n fonction de t et w est un bruit blanc gaussien de dimension m, que l'on peut assimiler aux vibrations angulaires et linéaires de la caméra par rapport au centre de gravité du porteur.

[0037] Le modèle discret s'écrit :

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= F_k * x_k + u_k + v_k \\ z_k &= H_k * x_k + w_k \end{aligned}$$

où

$X_k = [aP_k, aV_k, bP_k, bV_k, gP_k, gV_k, xP_k, xV_k, yP_k, yV_k, zP_k, zV_k]^T$ est le vecteur d'état à l'instant k de la trajectoire, composé des angles et vitesses lacet, tangage, roulis et positions et vitesses en x, y et z.

[0038] X_{k+1} est le vecteur d'état à l'instant k+1 avec $t_{k+1} - t_k = T_i$.

[0039] u_k est le vecteur d'entrée fonction de k connu; c'est le modèle de vol ou de trajectoire du centre de gravité du porteur.

[0040] v_k est le bruit blanc gaussien à n dimensions représentant les bruits d'accélération en lacet, tangage, roulis, positions x, y, z.

[0041] Si les angles et translations auxquels est soumise la caméra par rapport au centre de gravité ne sont pas constants au cours de la trajectoire, dans un viseur par exemple, il suffit de décrire leurs valeurs mesurées ou commandées ($ac(t)$, $bc(t)$, $gc(t)$, $Txc(t)$, $Tyc(t)$, $Tzc(t)$) en fonction de t ou de k.

[0042] Comme la trajectoire du centre de gravité du porteur est définie par le vecteur X_{k+1} , la trajectoire de la caméra peut être définie par un vecteur XC_{k+1}

$$xc_{k+1} = R(ac, bc, gc) * (F_k * x_k + u_k + v_k) + Tc$$

[0043] Entre les instants d'observation k et k+1, la caméra subit de pures rotations 3D et trois translations, dont les valeurs sont fournies par le vecteur x'_{k+1} .

[0044] Considérons la situation où les éléments de la scène sont projetés dans le plan image de la caméra et seules ces projections sont connues.

[0045] La figure 3 montre la géométrie du mouvement de la caméra dans l'espace 3D du monde réel.

[0046] La caméra est dans un système de coordonnées Cartésien ou Polaire à trois dimensions avec l'origine placée sur la lentille frontale de la caméra et l'axe z dirigé le long de la direction de visée.

[0047] Deux cas de complexités différentes existent :

- La scène est stationnaire tandis que la caméra zoome et tourne dans l'espace 3D.
- La scène est stationnaire tandis que la caméra zoome, tourne et se translate dans l'espace 3D.

[0048] Soit $P = (x, y, z)' = (d, a, b)'$ les coordonnées cartésiennes ou polaires caméra d'un point stationnaire au temps t

$$x = d \cdot \sin(a) \cdot \cos(b)$$

$$y = d \cdot \sin(b) \cdot \cos(a)$$

$$z = d \cdot \cos(a) \cdot \cos(b)$$

et $P' = (x', y', z')' = (d', a', b')'$ les coordonnées caméra correspondantes au temps $t' = t + T_i$.

[0049] Les coordonnées caméra $(x, y, z) = (d, a, b)$ d'un point dans l'espace et les coordonnées dans le plan image (X, Y) de son image sont liées par une transformation de perspective égale à :

$$X = F1(X, Y) \cdot x/z = F1(X, Y) \cdot \tan(a)$$

$$Y = F1(X, Y) \cdot y/z = F1(X, Y) \cdot \tan(b)$$

où $F1(X, Y)$ est la longueur focale de la caméra au temps t.

$$(x', y', z')' = R(da, db, dg) * (x, y, z)' + T(Tx, Ty, Tz)$$

5

où

- $R = R_\gamma R_\beta R_\alpha$ est une matrice 3 x 3 de rotation et $\alpha = da$, $\beta = db$, $\gamma = dg$ sont, respectivement, l'angle de lacet, l'angle de tangage et l'angle de roulis de la caméra entre le temps t et t'
- T est une matrice 1 x 3 de translation avec $Tx = x' - x$, $Ty = y' - y$ et $Tz = z' - z$, les translations de la caméra entre le temps t et t' .

10

[0050] Les observations par la caméra se faisant à la fréquence trame ($T_i = 20$ ms) on peut noter que ces angles évoluent peu entre deux trames et qu'on pourra simplifier certains calculs en conséquence.

15

[0051] Quand la longueur focale de la caméra au temps t évolue, on a :

$$F2(X, Y) = s.F1(X, Y)$$

20

où s est appelé paramètre de zoom, les coordonnées (X', Y') du plan image peuvent être exprimées par

25

$$X' = F2(X, Y).x'/z' = F2(X, Y). \tan(a')$$

30

$$Y' = F2(X, Y).y'/z' = F2(X, Y). \tan(b')$$

35

[0052] Si on veut distinguer plus finement les mouvements de la caméra déduits de ceux du porteur et les mouvements réels de la caméra, on dira que le porteur et la caméra ont la même trajectoire, mais que la caméra subit en plus des vibrations linéaires et angulaires.

40

$$(x', y', z')' = R(da+aw, db+bw, dg+gw) * (x, y, z)' + T(Tx+xw, Ty+yw, Tz+zw)$$

45

où

aw, bw, gw, xw, yw, zw sont les vibrations angulaires.

50

[0053] Ces vibrations linéaires et angulaires peuvent être assimilées à des bruits à moyennes nulles, blanc ou non en fonction du spectre du porteur considéré

[0054] L'équation du flot optique s'écrit :

55

$$\text{image}_{k+1}(X, Y) = \text{image}_k(X, Y) + \frac{\partial(\text{image}_k(X, Y))}{\partial X} . dX_{k+1}(X, Y) + \frac{\partial(\text{image}_k(X, Y))}{\partial Y} . dY_{k+1}(X, Y)$$

ou : $\text{image}_{k+1}(A_i, A_j) = \text{image}_k(A_i, A_j) + \text{GradientX}(A_i, A_j).dA_i + \text{GradientY}(A_i, A_j).dA_j$ avec GradientX et GradientY les dérivées selon X et Y de $\text{image}_k(X, Y)$.

60

[0055] Pour estimer les gradients on se sert uniquement des points adjacents. Comme on ne cherche que le mouvement global de l'image du paysage, on ne va s'intéresser qu'aux très basses fréquences spatiales de l'image et donc filtrer l'image en conséquence. Ainsi, les gradients calculés sont significatifs.

[0056] Le filtrage passe-bas consiste, de façon classique, à faire glisser un noyau de convolution de pixel en pixel des images numérisées de la caméra, noyau sur lequel on remplace l'origine du noyau par la moyenne des niveaux de gris des pixels du noyau. Les résultats obtenus avec un noyau rectangulaire de 7 pixels de hauteur (v) et 20 pixels de large (H) sont très satisfaisants sur des scènes normalement contrastées. Par contre, si on veut que l'algorithme fonctionne aussi sur quelques points chauds isolés, il vaut mieux utiliser un noyau qui préserve les maxima locaux et ne crée pas de discontinuité dans les gradients. On peut également utiliser des fonctions ondelettes comme noyau de moyennage.

[0057] On a donc utilisé un noyau de moyennage en forme de pyramide (triangle selon X convolué par triangle selon Y). La complexité du filtre n'est pas augmentée car on a utilisé deux fois un noyau rectangulaire de moyenne glissante de $[V = 4; H = 10]$. On peut également utiliser des fonctions ondelettes comme noyau de moyennage.

[0058] Seuls dX et dY sont inconnus, mais si on peut décomposer dX et dY en fonction des paramètres du vecteur d'état qui nous intéressent et de X et Y (ou A_i , A_j) de façon à n'avoir plus comme inconnues que les paramètres du vecteur d'état, on va pouvoir écrire l'équation sous une forme vectorielle $B = A * X_{trans}$, avec A et B connus.

[0059] Chaque point de l'image pouvant être l'objet de l'équation, on est en présence d'un système surdéterminé, $A * X_{trans} = B$, que l'on va pouvoir résoudre par la méthode des moindres carrés.

[0060] L'équation du flot optique mesure la totalité des déplacements de la caméra. On a vu plus haut qu'on pouvait distinguer plus finement les mouvements de la caméra déduits de ceux du porteur et les mouvements réels de la caméra en disant que le porteur et la caméra ont la même trajectoire, mais que la caméra subit en plus des vibrations linéaires et angulaires.

$$(x', y', z')' = R(da+aw, db+bw, dg+gw) * (x, y, z)' + T(Tx+xw, Ty+yw, Tz+zw)$$

où

aw, bw, gw, xw, yw, zw sont les vibrations angulaires et linéaires

[0061] Or les déplacements dus à la trajectoire de la caméra (da, db, dg, Tx, Ty, Tz) sont contenus dans le vecteur d'état x'_{k+1} de la caméra, ou plutôt dans l'estimation que l'on peut en faire, en moyennant, ou en ayant un filtre de Kalman qui en fournit la meilleure estimée.

[0062] Comme l'équation du flot optique mesure la totalité des déplacements, on va pouvoir en déduire les vibrations angulaires et linéaires aw, bw, gw, xw, zw, à des fins de stabilisation.

[0063] Il faut noter que sauf configurations extrêmement particulières, les vibrations linéaires ne pourront jamais être vues compte tenu de la distance d'observation, ou de leurs faibles amplitudes par rapport aux déplacements du porteur. On va donc observer : da + aw, db + bw, dg + gw, Tx, Ty, Tz.

[0064] Reprenons l'équation du flot optique :

$$image_{x-1}(X, Y) = image_x(X, Y) + \frac{\partial(image_x(X, Y))}{\partial X} . dX_{x-1}(X, Y) + \frac{\partial(image_x(X, Y))}{\partial Y} . dY_{x-1}(X, Y)$$

ou :

$$image_{x+1}(X + dX_{x-1}(X, Y), Y + dY_{x-1}(X, Y)) = image_x(X, Y)$$

[0065] Si on réalise cette opération, on voit que l'on va stabiliser de manière absolue les images de la séquence. Contrairement à une stabilisation inertielle où la ligne de visée est entachée de biais, de dérives et d'erreurs de facteur d'échelle, on peut créer une représentation de la scène non entachée de biais et de dérives si on la stabilise selon trois axes et si les défauts de distorsion de l'optique ont été compensés. Le quatrième axe (zoom) n'est pas forcément nécessaire mais il peut s'avérer indispensable en cas de zoom optique mais aussi dans le cas où la focale n'est pas connue avec assez de précision ou quand la focale varie avec la température (optiques IR, Germanium, etc...) ou la pression (indice de l'air).

[0066] Cela peut intéresser des applications où l'on veut faire de l'accumulation de trames sans traînage, ou si l'on

veut garder une référence en absolu du paysage (l'harmonisation dynamique d'un auto-directeur et d'un viseur par exemple).

[0067] Mais cela peut aussi concerner des applications où on va chercher à restaurer l'information de paysage de manière optimale en obtenant une image débarrassée des effets d'échantillonnage et de taille de détecteur.

[0068] On peut obtenir simultanément une amélioration de la résolution spatiale et une réduction des bruits temporels ou du bruit spatial fixe.

[0069] On peut remarquer que la même équation peut aussi s'écrire :

$$\text{image}_{k+1}(X, Y) = \text{image}(X - dX_{k+1}(X, Y), Y - dY_{k+1}(X, Y))$$

[0070] Les valeurs $dX_{k+1}(X, Y)$, $dY_{k+1}(X, Y)$ ne sont bien évidemment pas connues à l'instant k. Par contre, en utilisant les équations de mouvement de caméra on peut les estimer à l'instant k+1.

[0071] Cela procure une meilleure robustesse dans la mesure des vitesses et cela autorise de grandes dynamiques de mouvements.

[0072] Comme le même point P du paysage, de coordonnées X_k, Y_k dans l'image k, va se trouver aux coordonnées X_{k+1}, Y_{k+1} dans l'image k+1 à cause des trois rotations $aV_{k+1} \cdot Ti$, $bV_{k+1} \cdot Ti$, $gV_{k+1} \cdot Ti$, et du changement de focale, il faut donc faire subir des rotations et des facteurs de zoom opposés pour stabiliser de façon absolue l'image k+1 sur l'image k.

[0073] Examinons maintenant le cas particulier d'une scène stationnaire et pas de translation caméra.

[0074] Quand la caméra subit de pures rotations 3D, le rapport entre les coordonnées cartésiennes 3D caméra avant et après le mouvement de caméra est :

$$(x', y', z')' = R^*(x, y, z)'$$

où R est une matrice 3 x 3 de rotation et $\alpha = da$, $\beta = db$, $\gamma = dg$ sont, respectivement, l'angle de lacet, l'angle de tangage et l'angle de roulis de la caméra entre le tramps t et t'.

[0075] En coordonnées polaires 3D caméra, le rapport avant et après le mouvement de caméra est :

$$(d', a', b')' = K(da, db, dg) * (d, a, b)'$$

[0076] La scène étant stationnaire, on a :

$$d' = d \text{ pour tous les points du paysage}$$

$$X = F1(S, Y) \cdot x/z = F1(X, Y) \cdot \text{tg}(a)$$

$$Y = F1(X, Y) \cdot y/z = F1(X, Y) \cdot \text{tg}(b)$$

[0077] Quand la longueur focale de la caméra au temps t évolue, on a :

$$F2(X, Y) = s \cdot F1(X, Y)$$

où s est appelé paramètre de zoom, les coordonnées (X', Y') du plan image peuvent être exprimées par

•

$$X' = F2(X, Y) \cdot x'/z' = F2(X, Y) \cdot \operatorname{tg}(a')$$

5

•

$$Y' = F2(X, Y) \cdot y'/z' = F2(X, Y) \cdot \operatorname{tg}(b')$$

[0078] On a donc quatre paramètres qui peuvent varier.

10

[0079] Considérons le cas pratique, pour résoudre l'équation de flux optique, de l'estimation des vitesses de lacet, tangage et roulis et du changement de focale.

$$B(:, :, 1) = \operatorname{image}_{k+1}(A_i, A_j) - \operatorname{image}_k(A_i, A_j)$$

15

[0080] Si on pose :

$$A(:, :, 1) = \operatorname{DeriveeY}(A_i, A_j) \cdot (1 + (A_j \cdot \operatorname{pasV} / F1(X, Y))^2)$$

20

$$A(:, :, 2) = \operatorname{DeriveeX}(A_i, A_j) \cdot (1 + (A_i \cdot \operatorname{pasH} / F1(X, Y))^2)$$

25

$$A(:, :, 3) = \operatorname{DeriveeY}(A_i, A_j) \cdot A_i \cdot \operatorname{pasH} / \operatorname{pasV} - \operatorname{DeriveeX}(A_i, A_j) \cdot A_j \cdot \operatorname{pasV} / \operatorname{pasH}$$

30

$$A(:, :, 4) = \operatorname{DeriveeX}(A_i, A_j) \cdot A_i + \operatorname{DeriveeY}(A_i, A_j) \cdot A_j$$

$$X_{\text{trans}}(1) = F1(0, 0) \cdot bV_{k+1} \cdot T_i / \operatorname{pasV}$$

35

$$X_{\text{trans}}(2) = F1(0, 0) \cdot aV_{k+1} \cdot T_i / \operatorname{pasH}$$

40

$$X_{\text{trans}}(3) = gV_{k+1} \cdot T_i$$

$$X_{\text{trans}}(4) = (s-1) \cdot T_i$$

45

on va chercher à résoudre l'équation :

$$A * X_{\text{trans}} - B = 0$$

50

[0081] On utilise la méthode des moindres carrés pour minimiser la norme.

[0082] On peut écrire l'équation pour tous les points de l'image. Mais pour améliorer la précision et limiter les calculs, on peut remarquer que dans l'équation $A * X_{\text{trans}} = B$, le terme B est la différence de deux images successives et qu'on peut éliminer toutes les valeurs trop faibles ou proches du bruit.

55

[0083] Dans les essais réalisés, on a conservé tous les points compris entre $\pm 0.6 \operatorname{Max}(B)$ et $\pm \operatorname{Max}(B)$. Pour les séquences étudiées, le nombre de points évoluait de quelques dizaines à environ 1500. On peut aussi prendre un nombre fixe de l'ordre de 1000 parmi les séquences, proche du maximum.

[0084] En référence à la figure 4, on va maintenant décrire brièvement le système d'imagerie permettant la mise en

oeuvre de l'étape de stabilisation.

[0085] La caméra de prise de vues 13 délivre son signal vidéo d'images à un filtre passe-bas 42 ainsi qu'à un bloc de traitement 43 recevant sur une deuxième entrée les données de stabilisation et fournissant en sortie les images stabilisées. Sur sa deuxième entrée, le bloc 43 reçoit donc les vitesses de rotation à faire subir aux images prises par la caméra 13. La sortie du filtre 42 est reliée à deux mémoires tampons 44, 45 stockant respectivement les deux images filtrées de l'instant présent t et de l'instant passé $t-1$. Les deux mémoires tampons 44, 45 sont reliées à deux entrées d'un composant de calcul 46, qui est soit un ASIC soit un FPGA (field programmable gate array). Le composant de calcul 46 est relié à une mémoire de travail 47 et, en sortie, au bloc de traitement 43. Tous les composants électroniques du système sont contrôlés par un microcontrôleur de gestion 48.

[0086] Ayant maintenant décrit l'étape de stabilisation, on peut aborder l'étape d'harmonisation.

[0087] L'harmonisation mise en oeuvre dans le procédé de guidage de l'invention est une extrapolation de l'étape de stabilisation, le dispositif de visée et le dispositif d'imagerie de la roquette étant, avant le lancement, montés sur un même porteur.

[0088] La stabilisation des images du dispositif d'imagerie de la roquette est un procédé d'auto-stabilisation, dans lequel on stabilise l'image de l'instant t sur l'image de l'instant $t-1$. En d'autres termes encore, on peut dire qu'on harmonise chaque image du système d'imagerie sur la précédente.

[0089] Pour harmoniser les deux dispositifs, au même instant t , on prend les deux images des deux dispositifs et on les stabilise l'une sur l'autre, c'est-à-dire qu'on harmonise les deux dispositifs.

[0090] Harmoniser revient à procéder à la confusion des axes optiques des deux dispositifs ainsi qu'à mettre en concordance deux à deux les pixels des deux images et, de préférence, à procéder aussi à la confusion de ces pixels.

[0091] Naturellement, les deux dispositifs à harmoniser selon ce procédé doivent être de même nature optique, c'est-à-dire fonctionner dans des longueurs d'onde comparables.

[0092] En l'espèce, les deux dispositifs prenant tous les deux des images d'une même scène, dans un référentiel terrestre, on filtre les images de la scène prises aux mêmes instants par les deux appareils dans un filtre passe-bas, pour n'en retenir que les basses fréquences spatiales, et on résout l'équation du flot optique entre ces paires d'images respectives des deux dispositifs, pour déterminer les rotations et la variation du rapport des paramètres de zoom respectifs à faire subir à ces images pour les harmoniser les unes sur les autres.

[0093] La loi de guidage initiale, comme rappelé ci-dessus, s'élabore au moyen de la position, la distance et la vitesse de la cible, d'une part, et d'un modèle de vol d'autre part.

[0094] Ayant élaboré la loi de guidage initiale de la roquette, l'opérateur de conduite de tir procède à son lancement. Jusqu'à une certaine distance de la cible 61, jusqu'à ce que la roquette acquiert la cible, on compare l'image prise par le dispositif d'imagerie 10 de la roquette avec l'image grand champ 52 mémorisée de la scène prise au début avec le dispositif de visée 62, c'est-à-dire qu'on commande en permanence le guidage de la roquette.

[0095] Après acquisition de la cible 61 par la roquette, on poursuit le guidage de la roquette jusqu'en phase terminale, par comparaison de l'image prise par le dispositif d'imagerie 10 de la roquette avec l'image petit champ 53 aussi mémorisée.

Revendications

1. Procédé de guidage d'une roquette (1) sur une cible, dans lequel, la roquette (1) étant équipée de moyens d'auto-guidage à dispositif d'imagerie (10) et moyens de correction de trajectoire (11),

- on acquiert la cible par un dispositif de visée et on détermine sa position,
- on harmonise le dispositif de visée et le dispositif d'imagerie (10) de la roquette,
- on stabilise les images du dispositif d'imagerie (10) de la roquette,
- on élabore une loi de guidage,
- on lance la roquette (1) et
- on guide la roquette selon cette loi jusqu'à ce qu'elle acquiert elle-même la cible, **caractérisé par le fait que :**
- on stabilise les images du dispositif d'imagerie (10) de la roquette dans un référentiel terrestre, sur le paysage, et
- dans le référentiel terrestre, on filtre les images de la scène prises par le dispositif d'imagerie (10) dans un filtre passe-bas (42), pour n'en retenir que les basses fréquences spatiales, et on résout l'équation du flot optique pour déterminer les rotations à faire subir aux images pour les stabiliser sur les images précédentes.

2. Procédé de guidage selon la revendication 1, dans lequel, avant le lancement, on élabore une loi de guidage initiale et la roquette (1) est guidée jusqu'à ce qu'elle acquiert la cible selon cette loi initiale.

3. Procédé de guidage selon la revendication 1, dans lequel, avant le lancement, on élabore une loi de guidage initiale

et, après le lancement, on élabore une loi de guidage continûment variable et de correction de trajectoire jusqu'à ce que la roquette (1) acquiert la cible.

4. Procédé selon l'une des revendication 1 à 3, dans lequel, pour harmoniser le dispositif de visée et le dispositif d'imagerie (10) de la roquette, on procède à une harmonisation électronique selon laquelle, dans un référentiel terrestre, on filtre les images de la scène prises aux mêmes instants par les deux dispositifs dans un filtre passe-bas (42), pour n'en retenir que les basses fréquences spatiales, et on résoud l'équation du flot optique entre ces paires d'images respectives des deux dispositifs pour déterminer les rotations et la variation du rapport des paramètres de zoom respectifs à faire subir à ces images pour les harmoniser les unes sur les autres.

Claims

1. Method for guiding a rocket (1) onto a target, wherein, the rocket (1) being equipped with automatic guiding means having an image-formation device (10) and with means for correcting the trajectory (11),

- the target is acquired by a sighting device and its position is determined,
- the sighting device and the image-formation device (10) of the rocket are brought into line,
- the images of the rocket's image-formation device are stabilised,
- a guiding law is worked out,
- the rocket (1) is launched, and
- the rocket is guided according to this law until the rocket itself acquires the target, **characterised in that**
- the images of the rocket's image-formation device (10) are stabilised in a land reference frame on the landscape, and
- in the land reference frame, the images of the scene taken by the image-formation device (10) are filtered in a low-pass filter (42) in order to retain only the spatial low frequencies, and the equation of the optical flow is solved in order to determine the rotations to which the images must be subjected in order to stabilise them on the preceding images.

2. Guiding method according to claim 1, wherein, before launching, an initial guiding law is worked out and the rocket (1) is guided until it acquires the target according to this initial law.

3. Guiding method according to claim 1, wherein, before launching, an initial guiding law is worked out and, after launching, a continuously variable guiding law is worked out for correcting the trajectory until the rocket (1) acquires the target.

4. Method according to one of claims 1 to 3, wherein, in order to bring into line the sighting device and the image-formation device (10) of the rocket, electronic bringing into line is undertaken according to which, in a land reference frame, the images of the scene taken at the same instants by the two devices are filtered in a low-pass filter (42), in order to retain only the spatial low frequencies, and the equation of the optical flow between these respective pairs of images from the two devices is solved in order to determine the rotations and the variation of the ratio of the respective zoom parameters to which these images must be subjected in order to bring them into line with one another.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Lenkung einer Rakete (1) auf ein Ziel, wobei die Rakete (1) Mittel zur Zielsuchlenkung mit einer Abbildungseinrichtung (10) und mit Mitteln zur Flugbahnkorrektur (11) aufweist, wobei

- man mit einer Zieleinrichtung das Ziel erfaßt und man dessen Position bestimmt,
- man die Zieleinrichtung und die Abbildungseinrichtung (10) der Rakete abgleicht,
- man die Bilder der Abbildungseinrichtung (10) der Rakete stabilisiert,
- man eine Lenkungsregel gewinnt,
- man die Rakete (1) abschießt und
- man die Rakete (1) gemäß dieser Regel lenkt, bis sie das Ziel selbst erfaßt, **dadurch gekennzeichnet, daß:**
- man die Bilder der Abbildungseinrichtung (10) der Rakete in einem terrestrischen Bezugssystem, und zwar auf der Landschaft, stabilisiert und

EP 1 432 958 B1

- man in dem terrestrischen Bezugssystem die von der Abbildungseinrichtung (10) aufgenommenen Bilder der Szene in einem Tiefpaßfilter (42) filtert, um von diesen nur die niedrigen räumlichen Frequenzen zu erhalten, und man die Gleichung des optischen Flusses auflöst, um die Drehungen zu bestimmen, denen man die Bilder unterziehen muß, um sie auf den vorhergehenden Bildern zu stabilisieren.

- 5
2. Lenkungsverfahren nach Anspruch 1, wobei man vor dem Abschluß eine Anfangslenkungsregel gewinnt und die Rakete (1) gelenkt wird, bis sie gemäß dieser Anfangsregel das Ziel erfaßt.
- 10
3. Lenkungsverfahren nach Anspruch 1, wobei man vor dem Abschluß eine Anfangslenkungsregel gewinnt und man nach dem Abschluß eine ständig variable Lenkungsregel zur Flugbahnkorrektur gewinnt, bis die Rakete (1) das Ziel erfaßt.
- 15
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei man zum Abgleichen der Zieleinrichtung und der Abbildungseinrichtung (10) der Rakete einen elektronischen Abgleich durchführt, gemäß welchem man in einem terrestrischen Bezugssystem die zu gleichen Zeitpunkten von den beiden Einrichtungen aufgenommenen Bilder der Szene in einem Tiefpaßfilter (42) filtert, um von diesen nur die niedrigen räumlichen Frequenzen zu behalten, und man die Gleichung des optischen Flusses zwischen diesen jeweiligen Bildpaaren der beiden Einrichtungen auflöst, um die jeweiligen Drehungen und die Änderung des Zoomparameterverhältnisses zu bestimmen, denen man diese Bilder unterziehen muß, um die einen auf die anderen abzugleichen.
- 20

25

30

35

40

45

50

55

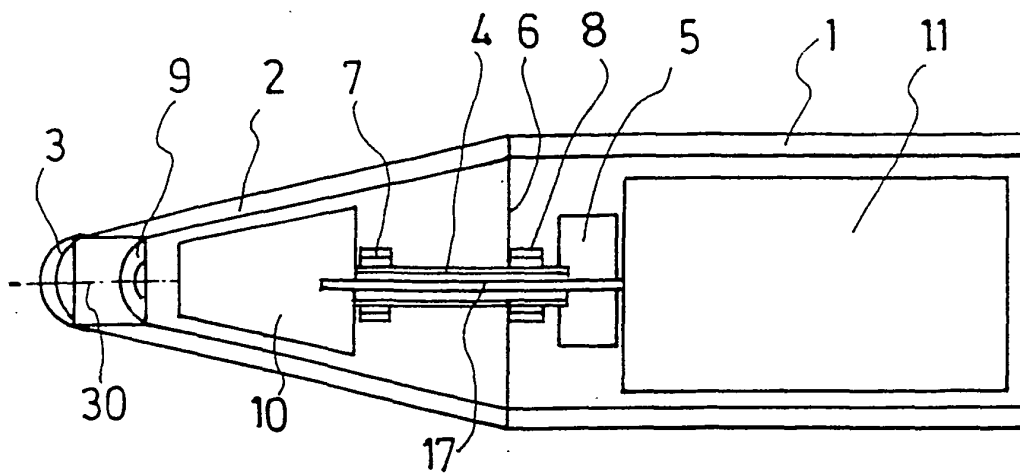


FIG.1

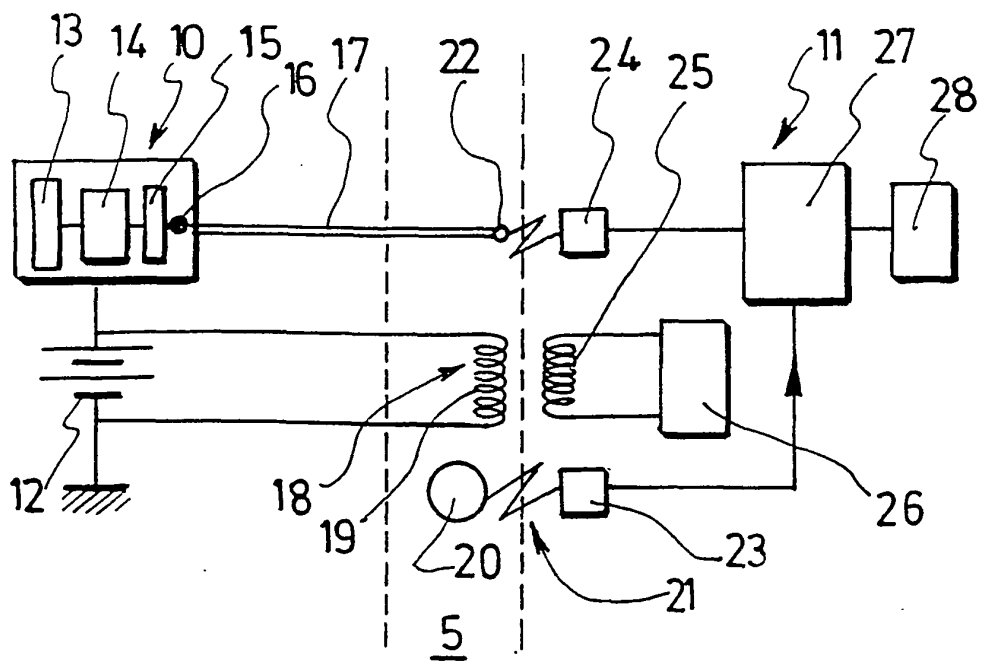


FIG.2

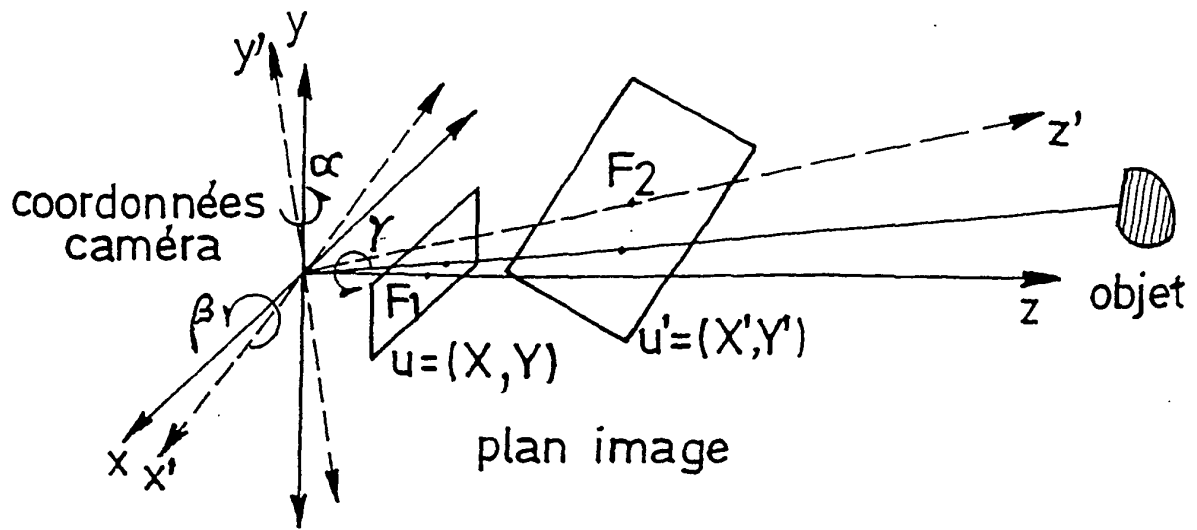


FIG.3

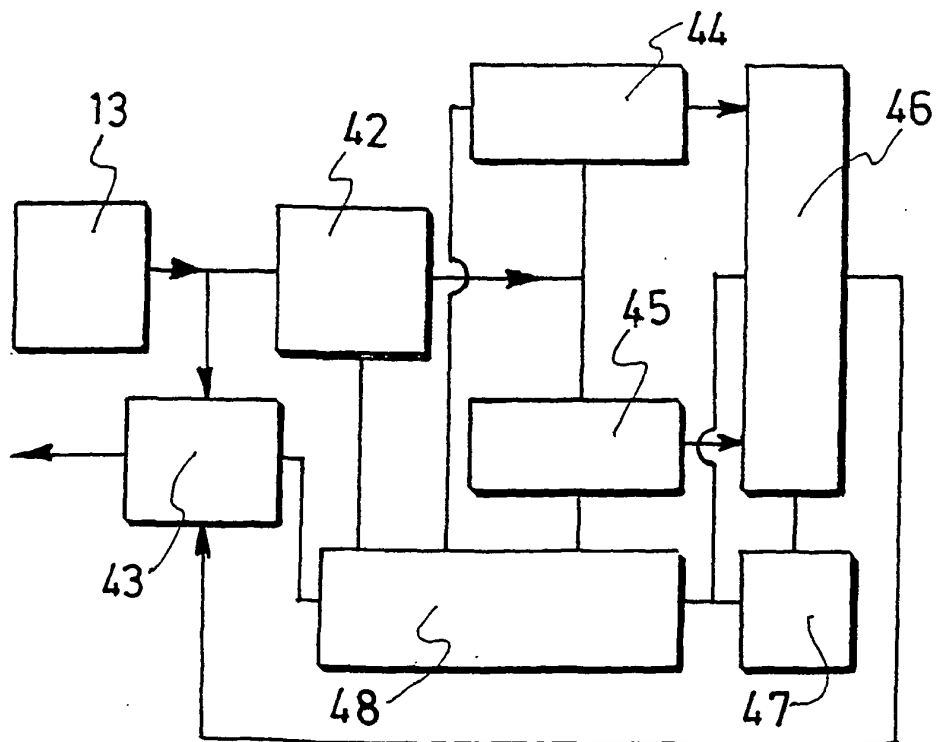


FIG.4

