



(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
18.01.2006 Bulletin 2006/03

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

(21) Numéro de dépôt: 05291446.2

(22) Date de dépôt: 05.07.2005

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR
Etats d'extension désignés:
AL BA HR MK YU

(72) Inventeur: Bredy, Thierry
18230 Saint Doulchard (FR)

(74) Mandataire: Célanie, Christian
Cabinet Célanie
5, avenue de Saint Cloud
BP 214
78002 Versailles Cedex (FR)

(30) Priorité: 12.07.2004 FR 0407773

(71) Demandeur: GIAT Industries
78000 Versailles (FR)

(54) Procédé de guidage et/ou de pilotage d'un projectile et dispositif de guidage et/ou de pilotage mettant en oeuvre un tel procédé

(57) L'invention a pour objet un procédé de guidage terminal et/ou de pilotage d'un projectile (1) vers une cible (12).

Selon ce procédé on détermine l'orientation d'un vecteur \vec{V}_p vitesse de projectile puis on applique une loi de guidage, puis un algorithme de pilotage permettant de réorienter le projectile vers sa cible. Ce procédé est

caractérisé en ce que l'on mesure les trois composantes du champ magnétique terrestre \vec{H} dans le repère $(OX_m Y_m Z_m)$ lié au projectile et on utilise ces mesures dans la loi de guidage et/ou l'algorithme de pilotage comme une référence fixe par rapport à un repère terrestre $(GX_f Y_f Z_f)$.

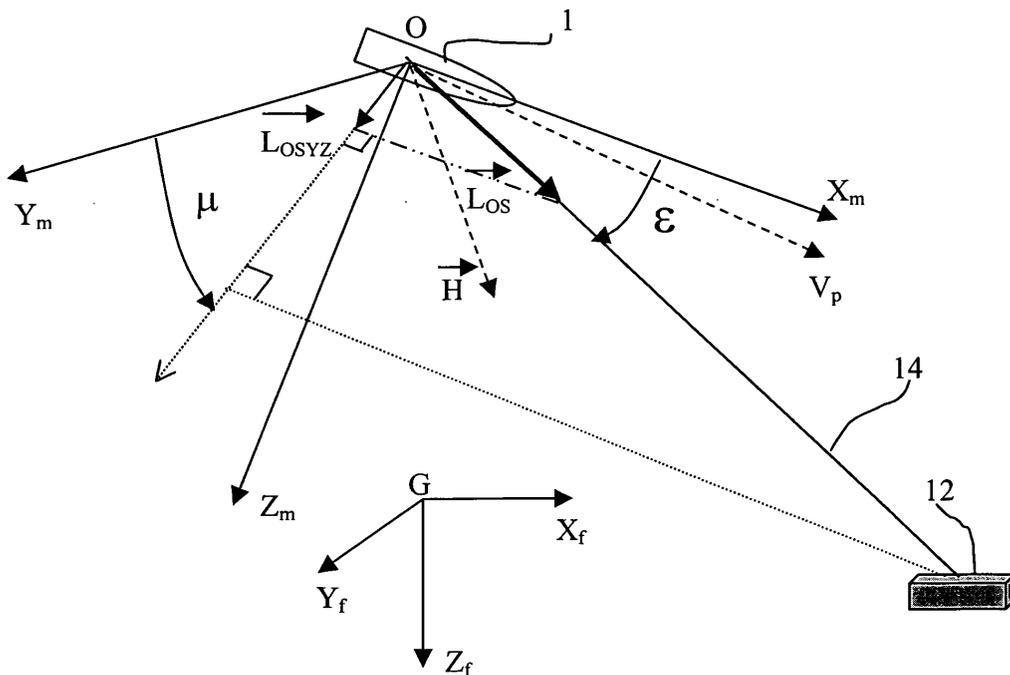


Fig. 2

Description

[0001] Le domaine technique de l'invention est celui des procédés et dispositifs de guidage et/ou pilotage d'un projectile vers une cible.

[0002] Les projectiles connus sont guidés vers leur cible par un dispositif de guidage qui élabore les ordres de correction en accélération à appliquer au projectile pour diriger celui-ci vers la cible.

[0003] Ces ordres de correction sont utilisés ensuite par un dispositif de pilotage qui élabore les commandes à appliquer à des organes de pilotage afin d'assurer la correction souhaitée.

[0004] On connaît ainsi des projectiles autonomes dotés d'un dispositif de positionnement par satellite (plus connu sous l'acronyme anglo-saxon "GPS" signifiant «Global Positioning System») qui leur permet de se localiser sur trajectoire. Le projectile reçoit avant tir une programmation qui lui donne les coordonnées de la cible. Il détermine alors lui-même sa position réelle en vol, et élabore, à l'aide des informations fournies par une unité de mesure inertielle embarquée et au moyen d'algorithmes appropriés, les ordres de commande destinés aux gouvernes.

[0005] Cette unité de mesure inertielle, comprend des accéléromètres et des gyromètres (ou gyroscopes), qui fournissent (dans un repère lié au projectile) les composantes du vecteur instantané de rotation et de l'accélération non gravitationnelle à laquelle est soumis le projectile. Cette unité de mesure inertielle est mise en oeuvre à la fois pour assurer le pilotage du projectile et concourir à son guidage en fusionnant les données de cette unité avec celles fournies par le GPS.

[0006] Il est connu également de réaliser des projectiles incorporant un détecteur de cible permettant de localiser celle-ci dans l'espace.

[0007] Dans ce cas les consignes de guidage et de pilotage sont élaborées à partir de la direction de localisation de la cible par rapport au projectile (ligne de visée) et également à partir des données relatives à la rotation de cette ligne de visée par rapport à un repère fixe (repère terrestre en première approximation) exprimées dans un repère lié au projectile.

[0008] Les mouvements de la ligne de visée sont mesurés par rapport à un repère lié au projectile, alors qu'il est nécessaire pour guider le projectile de connaître les mouvements de la ligne de visée par rapport à un repère fixe.

[0009] La connaissance du comportement du projectile par rapport à un repère fixe est obtenue avec une unité de mesure inertielle. Il est alors possible de déterminer les mouvements de la ligne de visée par rapport à un repère fixe. Là encore, cette unité de mesure inertielle est mise en oeuvre à la fois pour assurer le pilotage du projectile et concourir à son guidage.

[0010] Il est alors possible de définir l'accélération corrective à apporter au projectile, dans un repère lié au projectile, pour rallier la cible.

[0011] Si ces solutions sont bien adaptées aux projectiles de type missiles, elles sont inutilisables pour les projectiles tirés canon en raison du manque de robustesse des gyromètres ou du coût trop élevé de ces composants de mesure.

[0012] C'est le but de l'invention que de proposer un procédé de guidage terminal et/ou de pilotage d'un projectile vers une cible permettant de pallier de tels inconvénients.

[0013] Ainsi le procédé selon l'invention permet d'assurer guidage et/ou pilotage sans mettre en oeuvre de gyromètres tout en assurant une précision pratiquement équivalente à celle obtenue avec les dispositifs de guidage/pilotage connus.

[0014] Ainsi l'invention a pour objet un procédé de guidage terminal et/ou de pilotage d'un projectile vers une cible, procédé dans lequel on détermine l'orientation d'un

vecteur \vec{V}_p vitesse du projectile puis on applique une

loi de guidage, puis un algorithme de pilotage permettant de réorienter le projectile vers sa cible, procédé caractérisé en ce que l'on mesure les trois composantes du

champ magnétique terrestre \vec{H} dans un repère lié au

projectile et on utilise ces mesures dans la loi de guidage et/ou l'algorithme de pilotage comme une référence fixe permettant d'orienter au moins partiellement le repère lié au projectile par rapport à un repère terrestre.

[0015] Selon un mode de réalisation, l'invention vise un procédé de guidage et/ou de pilotage dans lequel on met en oeuvre un détecteur de cible permettant de localiser la cible dans un repère lié au projectile, et d'en déduire les coordonnées d'un vecteur ligne de visée

\vec{Los} entre cible et projectile, ce procédé est caractérisé en ce que, pour assurer le pilotage:

on détermine dans le repère lié au projectile la pro-

jection \vec{N} du vecteur champ magnétique terrestre

\vec{H} dans un plan de guidage défini par les vecteurs

ligne de visée \vec{Los} et vitesse \vec{V}_p du projectile,

on applique une loi de guidage proportionnelle à la variation en fonction du temps $\lambda = d\lambda/dt$ de l'angle λ

entre cette projection \vec{N} du champ magnétique

et le vecteur ligne de visée \vec{Los} .

[0016] On pourra notamment exprimer la loi de guida-

ge de la façon suivante : $\vec{\gamma}_{cmd} = K \dot{\lambda} \vec{u}$, ex-

pression dans laquelle $\vec{\gamma}_{cmd}$ représente le vecteur accélération consigne de correction, $\dot{\lambda}$ représente la variation en fonction du temps ($d\lambda/dt$) de l'angle λ entre la projection \vec{N} du champ magnétique et le vecteur ligne de visée \vec{Los} et \vec{u} représente un vecteur unitaire perpendiculaire au vecteur vitesse \vec{V}_p du projectile et situé dans le plan de guidage.

[0017] Selon une variante, pour déterminer l'orientation du vecteur vitesse du projectile dans le repère lié au projectile, on pourra considérer que ce vecteur est colinéaire à l'axe OX_m du repère lié au projectile.

[0018] Selon une autre variante, pour déterminer l'orientation du vecteur vitesse du projectile dans le repère lié au projectile, on pourra utiliser les signaux fournis par au moins deux accéléromètres orientés respectivement suivant les axes de mesure en tangage (OY_m) et en lacet (OZ_m) du projectile.

[0019] Selon un autre mode de réalisation, l'invention vise un procédé de guidage et/ou de pilotage dans lequel, pour assurer le pilotage en asservissant le positionnement des gouvernes en lacet et/ou en tangage :

on détermine la projection du vecteur champ magnétique sur un des plans de lacet (X_mOY_m) et/ou de tangage (X_mOZ_m) du projectile, on utilise dans une chaîne d'asservissement en lacet et/ou en tangage, en lieu et place de la vitesse de rotation en lacet et/ou tangage, la dérivée par rapport au temps d'un angle fait par la projection ainsi réalisé avec un des axes du plan considéré.

[0020] Une telle opération revient à remplacer le retour gyrométrique de la chaîne d'asservissement en lacet et/ou en tangage par un retour "pseudo-gyrométrique" issu des mesures du champ magnétique.

[0021] En particulier, pour asservir le positionnement des gouvernes en lacet on pourra :

déterminer la projection du vecteur champ magnétique sur le plan de lacet (X_mOY_m) du projectile, calculer la variation en fonction du temps ($r_{mes}=d\rho_2/dt$) de l'angle ρ_2 fait par cette projection avec l'axe de roulis (Ox_m), utiliser dans une chaîne d'asservissement en lacet la valeur r_{mes} ainsi calculée (retour pseudo-gyrométrique) en lieu et place de la mesure de vitesse de rotation en lacet r .

[0022] Pour asservir le positionnement des gouvernes en tangage on pourra :

déterminer la projection du vecteur champ magnétique sur le plan de tangage (X_mOZ_m) du projectile,

calculer la variation en fonction du temps ($q_{mes}=d\rho_1/dt$) de l'angle ρ_1 fait par cette projection avec l'axe de rotation en lacet (OZ_m),

utiliser dans une chaîne d'asservissement en tangage la valeur q_{mes} ainsi calculée (retour pseudo-gyrométrique) en lieu et place de la mesure de vitesse de rotation en tangage q .

[0023] Pour asservir le positionnement des gouvernes en roulis on pourra par ailleurs :

déterminer la projection du vecteur champ magnétique sur le plan de roulis (Z_mOY_m) du projectile, mesurer l'angle ρ_3 fait par cette projection avec un des axes dudit plan (par exemple l'axe de rotation en tangage (OY_m)),

utiliser dans une chaîne d'asservissement en roulis la valeur ρ_3 ainsi calculée en lieu et place de l'angle de roulis Φ .

[0024] On pourra à titre de variante combiner ce procédé de pilotage à une loi de guidage du projectile classique telle qu'une loi de poursuite.

[0025] L'invention a également pour objet un dispositif de guidage et/ou pilotage d'un projectile vers une cible mettant en oeuvre un tel procédé, dispositif caractérisé en ce qu'il associe un détecteur de cible ou écartomètre, un calculateur incorporant un algorithme de guidage et/ou de pilotage du projectile, des moyens de pilotage du projectile, au moins deux accéléromètres orientés suivant les axes de mesure d'accélération en tangage (OZ_m) et d'accélération en lacet (OY_m) du projectile et un ou plusieurs senseurs magnétiques disposés de façon à mesurer les trois composantes du vecteur champ

magnétique terrestre \vec{H} dans un repère lié au projectile, l'algorithme de guidage et/ou pilotage utilisant les mesures des composantes du vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} comme référence fixe permettant d'orienter au moins partiellement le repère lié au projectile par rapport à un repère terrestre.

[0026] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre d'un mode particulier de réalisation, description faite en référence aux dessins annexés et dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma montrant un projectile mettant en oeuvre un dispositif de guidage et/ou pilotage selon l'invention,
- la figure 2 est un schéma montrant la mise en oeuvre d'un projectile guidé et/ou piloté avec le procédé selon l'invention, schéma permettant de visualiser certains vecteurs, angles et repères,
- la figure 3 est un schéma représentant les différents vecteurs calculés dans le procédé selon l'invention,
- la figure 4 est un synoptique du procédé de guidage selon l'invention,

- les figures 5a et 5b sont des diagrammes fonctionnels de chaîne de pilotage classiques,
- la figure 6 montre les angles d'Euler en relation avec le vecteur champ magnétique,
- les figures 7a, 7b, 7c sont des schémas représentant les vecteurs et angles calculés dans le procédé de pilotage selon l'invention.

[0027] La figure 1 montre de façon schématique un mode de réalisation d'un projectile 1 mettant en oeuvre un dispositif de guidage et/ou pilotage selon l'invention.

[0028] Le projectile 1 est équipé à sa partie arrière de quatre gouvernes de pilotage pivotantes 2. Chaque gouverne 2 est actionnée par un moyen de pilotage ou servomécanisme 3 qui est lui-même commandé par un calculateur embarqué 4. Ce projectile est par exemple un projectile tiré par un canon d'artillerie en direction d'une cible.

[0029] Lorsque le projectile se trouve à l'intérieur du tube d'une arme (non représentée) les gouvernes sont repliées le long du corps du projectile 1. Elles se déploient à la sortie du tube pour assurer leur fonction de pilotage. Ces mécanismes de déploiement sont classiques et il n'est pas nécessaire de les décrire ici. On pourra se reporter par exemple aux brevets FR2846079 et FR2846080 qui décrivent des mécanismes de déploiement de gouvernes de pilotage.

[0030] Le projectile 1 renferme également une tête militaire 9, par exemple une charge formée, une charge explosive ou bien une ou plusieurs sous munitions dispersables.

[0031] Le projectile 1 renferme aussi des moyens inertiels. Ces moyens inertiels 7 comprennent au moins deux accéléromètres 10a, 10b orientés respectivement suivant les axes de mesure de l'accélération en lacet (OY_m) et en tangage (OZ_m) du projectile 1. Ces axes sont, comme cela est visible sur la figure 1, des axes perpendiculaires à l'axe OX_m de roulis (confondu avec l'axe 8 du projectile).

[0032] On pourra dans certaines applications prévoir également des gyromètres ou gyroscopes au niveau des moyens inertiels 7.

[0033] Les moyens inertiels sont reliés au calculateur 4 qui assure le traitement des mesures effectuées et leur exploitation ultérieure pour le guidage et/ou le pilotage du projectile.

[0034] Selon une caractéristique essentielle de l'invention, le projectile 1 incorpore également un senseur magnétique triaxial 6 (un senseur unique ou bien trois sondes magnétiques ou magnéto-résistances réparties suivant trois directions différentes d'un trièdre de mesure (par exemple trois sondes orthogonales entre elles et dirigées chacune de préférence suivant un des axes du repère du projectile OX_m , OY_m ou OZ_m)).

[0035] Ce senseur permet de mesurer les composantes du champ magnétique terrestre H dans un repère lié au projectile 1.

[0036] Le senseur magnétique 6 est relié lui aussi au

calculateur 4 qui assure le traitement des mesures et leur exploitation ultérieure.

[0037] Dans le mode de réalisation qui est représenté sur la figure 1, le projectile 1 incorpore également un détecteur de cible 5 qui est monté fixe par rapport au projectile 1.

[0038] De tels détecteurs ou écartomètres sont bien connus de l'Homme du Métier (ils sont connus sous le nom anglo saxon de "strapdown sensor"). Ils comprennent par exemple une matrice de capteurs optiques 5a sur laquelle sont envoyés les rayons lumineux provenant d'un champ d'observation qui est délimité sur la figure par les lignes 11a, 11b. Ces rayons lumineux sont fournis par une optique d'entrée 5b qui est orientée suivant l'axe OX_m du projectile 1.

[0039] On pourra par exemple mettre en oeuvre un écartomètre semi-actif repérant une tache laser issue d'un désignateur et réfléchi sur une cible. Cet écartomètre pourra être un photo détecteur quatre quadrants (quatre zones de détection délimitées par deux droites perpendiculaires).

[0040] Un tel détecteur permet (avec un traitement des signaux approprié) de déterminer la direction de la ligne de visée reliant le projectile à une cible.

[0041] Le détecteur 5 est lui aussi relié au calculateur 4. Ce dernier assure là encore le traitement des mesures et leur exploitation ultérieure. Il incorporera des algorithmes de détection et/ou reconnaissance d'une cible donnée (pour un détecteur autonome passif ou actif) ou des algorithmes de décodage des signaux d'un désignateur (pour un détecteur semi-actif). Il incorporera aussi les algorithmes permettant, une fois une cible repérée, de calculer dans un repère lié au projectile les composantes d'un vecteur ligne de visée.

[0042] Bien entendu la figure 1 n'est qu'un schéma explicatif qui ne préjuge pas des localisations et dimensions relatives des différents éléments. Concrètement une seule fusée de projectile pourra incorporer le calculateur 4, les senseurs magnétiques 6, les accéléromètres 7 et le détecteur de cible 5.

[0043] Sur la figure 2 on a représenté le projectile 1 et une cible 12.

[0044] Un repère $OX_m Y_m Z_m$ lié au projectile a pour axes :

OX_m (axe de rotation en roulis),

OY_m (axe de rotation en tangage et aussi axe suivant lequel on mesure l'accélération de lacet) et

OZ_m (axe de rotation en lacet et aussi axe suivant lequel on mesure l'accélération de tangage).

[0045] La ligne de visée 14 est une droite imaginaire reliant le centre de gravité O du projectile et la cible 12.

On notera \overrightarrow{Los} le vecteur unitaire sur cette ligne de visée.

[0046] On a représenté aussi sur cette figure un repère terrestre fixe $Gx_f Y_f Z_f$.

[0047] La position du vecteur \overrightarrow{Los} dans le repère lié au projectile est déterminée par les deux angles ε et μ repérés sur la figure. ε est l'angle entre le vecteur \overrightarrow{Los} et l'axe de roulis OX_m , μ est l'angle entre l'axe

OY_m et la projection $\overrightarrow{Los}_{YZ}$ du vecteur \overrightarrow{Los} sur le plan OY_mZ_m .

[0048] Les algorithmes permettant de déterminer les angles ε et μ , donc les coordonnées du vecteur \overrightarrow{Los} dans un repère $OX_mY_mZ_m$ lié au projectile, sont bien connus de l'Homme du Métier car ils sont mis en oeuvre dans tout projectile utilisant un tel type de détecteur de cible. Il n'est donc pas nécessaire de les décrire en détails. On considérera donc par la suite que le vecteur \overrightarrow{Los} est connu. Ces algorithmes sont incorporés dans des mémoires ou registres du calculateur 4.

[0049] On a également repéré sur la figure 2 le vecteur \vec{H} qui est le vecteur champ magnétique terrestre et le vecteur \vec{Vp} qui est le vecteur vitesse du projectile par rapport à un repère fixe à un instant donné.

[0050] On notera OX_mZ_m le plan de tangage du projectile (perpendiculaire à l'axe de rotation de tangage OY_m) et OX_mY_m le plan de lacet du projectile (perpendiculaire à l'axe de rotation de lacet OZ_m).

[0051] D'une façon classique pour guider le projectile 1 vers sa cible il faut contrôler son vecteur vitesse \vec{Vp} .

[0052] La figure 3 permet d'expliciter le procédé de guidage mis en oeuvre conformément à un mode de réalisation de l'invention.

[0053] Le procédé est basé sur une loi de navigation proportionnelle classique. Conformément à une telle loi, on contrôle le vecteur vitesse \vec{Vp} en appliquant au

projectile une accélération $\vec{\gamma}_{cmd}$, perpendiculaire à ce vecteur vitesse et proportionnelle à la vitesse de rotation de la ligne de visée Los par rapport à un repère fixe.

[0054] Habituellement dans les projectiles connus on détermine la rotation du repère du projectile par rapport au repère fixe en mettant en oeuvre des gyromètres.

[0055] Conformément à l'invention on utilisera dans le procédé de guidage une simple mesure du champ magnétique terrestre réalisée au niveau du projectile. Cette mesure est utilisée dans le procédé de guidage comme une référence fixe par rapport au repère terrestre. Il est alors inutile de mettre en oeuvre des gyromètres pour déterminer les éléments nécessaires à l'orientation du repère lié au projectile par rapport au repère fixe.

[0056] On a représenté sur la figure 3, le vecteur vi-

tesse de projectile \vec{Vp} et le vecteur ligne de visée

\overrightarrow{Los} . Ces deux vecteurs déterminent un plan (plan de guidage) sur lequel on projette le vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} (cette projection est notée \vec{N}).

[0057] On note λ l'angle entre le vecteur ligne de visée \overrightarrow{Los} et cette projection \vec{N} du champ magnétique.

[0058] On a également noté \vec{u} sur cette figure le vecteur unitaire perpendiculaire au vecteur Vp et appartenant au plan de guidage, vecteur qui matérialise la direction selon laquelle les consignes de correction en accélération $\vec{\gamma}_{cmd}$ doivent être appliquées.

[0059] Conformément à l'invention on appliquera au projectile 1 une loi de guidage proportionnelle à la variation en fonction du temps de l'angle λ entre la ligne de visée \overrightarrow{Los} et la projection \vec{N} du vecteur champ magnétique terrestre sur le plan de guidage.

[0060] Pour procéder aux différents calculs il est nécessaire avant tout de connaître l'orientation du vecteur vitesse du projectile \vec{Vp} dans un repère lié au projectile.

[0061] D'une façon simplifiée on pourra considérer que ce vecteur est colinéaire à l'axe OX_m du repère projectile.

[0062] Une telle approximation est suffisante dans les applications pour lesquelles le projectile a une incidence sur trajectoire faible (angle entre Vp et l'axe 8 du projectile inférieur à 12°).

[0063] On pourra également utiliser les données fournies par les moyens inertiels 7 (accéléromètres 10a, 10b). La connaissance des accélérations auxquelles est soumis le projectile permet en effet de connaître les efforts aérodynamiques auxquels il est soumis. On peut alors, en mettant en oeuvre les relations classiques de mécanique du vol qui expriment les efforts aérodynamiques subis en fonction du carré de la vitesse et des angles d'incidence du projectile en déduire les angles d'incidence du projectile, donc l'orientation du vecteur Vp dans le repère lié au projectile. Pour réaliser une telle évaluation on utilisera une table des vitesses du projectile mise en mémoire dans le calculateur 4 et on négligera les perturbations dues au vent.

[0064] La figure 4 est un synoptique présentant les différentes étapes du procédé de guidage selon invention

[0065] Le bloc A correspond à la détermination de

l'orientation du vecteur \vec{V}_p dans le repère du projectile.

Comme cela a été précisé précédemment, cette détermination sera selon le cas, soit fixe (\vec{V}_p orienté suivant OX_m), soit calculée à partir des accéléromètres 10a, 10b qui donnent les valeurs γ_Y et γ_Z .

[0066] Le bloc B correspond à la détermination des composantes du vecteur unitaire \vec{L}_{os} colinéaire à la ligne de visée. Ce calcul est un calcul classique dans le cadre de la mise en oeuvre de détecteurs fixes 5.

[0067] Le bloc C correspond à la mesure des trois composantes du vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} dans un repère lié au projectile.

[0068] Le bloc D correspond à l'élaboration des trois composantes de la projection \vec{N} du vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} dans le plan de guidage défini par les vecteurs ligne de visée \vec{L}_{os} et vitesse \vec{V}_p du projectile.

[0069] Ce calcul fait intervenir les composantes de \vec{L}_{os} et de \vec{V}_p (définition du plan de guidage) et celles de \vec{H} .

[0070] Il suffit pour ce calcul de définir les vecteurs intermédiaires :

$\vec{R} = \vec{V}_p \wedge \vec{L}_{os}$ et $\vec{S} = \vec{R} \wedge \vec{H}$, puis de résoudre les équations :

$\vec{R} \bullet \vec{N} = 0$ (ce qui signifie que les vecteurs \vec{V}_p , \vec{L}_{os} et \vec{N} appartiennent au même plan (plan de guidage))

$\vec{S} \bullet \vec{N} = 0$ (ce qui signifie que les vecteurs \vec{R} , \vec{H} et \vec{N} appartiennent au même plan perpendiculaire au plan de guidage)

- représente le produit scalaire et \wedge le produit vectoriel.

[0071] Pour lever l'indétermination de calcul concernant le vecteur N dont seule l'orientation est nécessaire au procédé selon l'invention, on fixe arbitrairement l'une des composantes du vecteur, par exemple $N_{x_m} = 1$.

[0072] Le bloc F correspond au calcul de l'angle λ entre

le vecteur ligne de visée \vec{L}_{os} et la projection \vec{N} du champ magnétique ainsi calculée.

[0073] Cet angle se calcule aisément en résolvant les équations:

$$\vec{N} \bullet \vec{L}_{os} = N L_{os} \cos \lambda = N L_{os} \cos \lambda \quad (N \text{ et } L_{os} \text{ étant les normes des vecteurs } \vec{N} \text{ et } \vec{L}_{os})$$

$$|\vec{N} \wedge \vec{L}_{os}| = N L_{os} \sin \lambda$$

[0074] On peut alors (bloc G) calculer la dérivée par rapport au temps de cet angle λ ($\lambda = d\lambda/dt$) et lui appliquer (bloc K) le coefficient K de la loi de guidage.

[0075] L'estimation de la dérivée λ de l'angle λ pourra faire appel à un filtre de lissage de manière à minimiser les bruits dus à l'opération de dérivation de cet angle.

[0076] Le coefficient K sera choisi par l'Homme du Métier en fonction des caractéristiques du projectile ainsi que de la vitesse de rapprochement cible / projectile. Cette vitesse est estimée à partir de valeurs préprogrammées dans le calculateur 4 du projectile et en fonction du scénario de tir. La valeur de K pourra être ajustée au niveau du calculateur 4 selon les scénarios de tir envisagés.

[0077] Le bloc E correspond au calcul des coordonnées du vecteur unitaire \vec{u} dans le repère lié au projectile. Ces coordonnées sont aisément calculées par la résolution des équations :

$$\vec{V}_p \bullet \vec{u} = 0 \quad \text{et} \quad (\vec{V}_p \wedge \vec{u}) \bullet \vec{L}_{os} = 0 \quad \text{et norme du vecteur } \vec{u} = 1$$

[0078] Si on fait l'approximation V_p colinéaire à OX_m , le vecteur \vec{u} est situé dans le plan $Y_m OZ_m$ et sa direction est alors simplement fournie par la projection du vecteur \vec{N} ou du vecteur \vec{L}_{os} dans ce plan.

[0079] Le bloc L donne les composantes du vecteur accélération de commande $\vec{\gamma}_{cmd}$ (seules les composantes γ_{cmdY} et γ_{cmdZ} de ce vecteur suivant les axes de lacet (OY_m) et tangage (OZ_m) sont nécessaires pour assurer le guidage).

[0080] D'une façon classique ces commandes sont utilisées par les algorithmes des chaînes de pilotage en tangage et lacet des gouvernes pour assurer le pilotage du projectile.

[0081] Le pilotage du projectile est réalisé à l'aide d'un algorithme de pilotage classique. Un tel algorithme utilise les consignes d'accélération en lacet et tangage données par le calculateur à l'aide de l'algorithme de guidage ainsi que les valeurs des accélérations effectivement mesurées suivant les axes de tangage, lacet, et celles des vitesses de rotation (p, q, r) du projectile autour de ses axes de rotation de roulis, tangage et lacet respectivement.

[0082] Les figures 5a et 5b sont des diagrammes fonctionnels de chaînes de pilotage classiques.

[0083] La figure 5a montre une chaîne de pilotage en lacet ou en tangage. Cette chaîne comprend un module L/T d'asservissement en lacet (respectivement en tangage) qui élabore les angles de consigne de braquage en lacet δ_{cmdY} (respectivement en tangage δ_{cmdZ}) en fonction de la consigne en accélération γ_{cmdY} (respectivement γ_{cmdZ}) et des mesures γ_{Ym} (ou γ_{Zm}) des accélérations de lacet γ_Y (ou tangage γ_Z) effectivement obtenues ainsi que de la mesure r_m (ou q_m) de la vitesse de rotation r (ou q) autour de l'axe de rotation de lacet (ou de tangage).

[0084] Les consignes sont communiquées par le servomécanisme 3 aux ailettes 2 solidaires du projectile 1 (structure aérodynamique 1 + 2). Bien entendu les angles de consigne δ_{cmdY} et δ_{cmdZ} sont répartis sur les différentes ailettes de pilotage en fonction de la géométrie, de la position et du nombre de ces dernières.

[0085] Les mesures sont effectuées respectivement par l'accéléromètre lacet 10a (ou tangage 10b) et par un gyromètre lacet G_L (ou tangage G_T). Un bloc d'adaptation 15 (fonction de transfert) est prévu en sortie des gyromètres (G_L/G_T) avant combinaison des signaux relatif à la rotation avec ceux fournis par les accéléromètres (10a, 10b).

[0086] Ces algorithmes d'asservissement sont bien connus de l'Homme du Métier. On pourra par exemple se reporter au brevet FR2847033 qui décrit un procédé de calcul des angles de braquage pour des gouvernes de type "canard".

[0087] La figure 5b montre une chaîne de pilotage en roulis classique. Cette chaîne comprend un module R d'asservissement en roulis qui élabore un angle de consigne de braquage en roulis δ_{cmdR} en fonction de la consigne d'angle de roulis souhaité ϕ_{cmd} et de la mesure p_m de la vitesse de roulis p. Cette dernière est mesurée par un gyromètre roulis G_R couplé à un moyen 13 d'évaluation de la position en roulis ϕ_{est} (généralement constitué par un algorithme approprié).

[0088] Ces chaînes de pilotage classiques nécessitent la mise en oeuvre de gyromètres (G_R, G_L, G_T) dont les performances sont moindres de celles des gyromètres mis en oeuvre pour assurer un guidage.

[0089] Il est possible donc de ne mettre en oeuvre l'invention que pour assurer la fonction guidage du projectile, le pilotage étant réalisé par des moyens classiques.

[0090] Avantagusement on pourra selon un autre mode de réalisation de l'invention mettre en oeuvre une

référence magnétique pour assurer également le pilotage. Dans ce cas il ne sera plus nécessaire d'utiliser des gyromètres.

[0091] La figure 6 montre le projectile 1 par rapport à un repère fixe $OX_f Y_f Z_f$ ramené au centre de gravité O du projectile. Ce repère fixe est défini de telle sorte que le vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} soit confondu avec l'axe OX_f . La figure 6 montre également l'axe OX_m du repère lié au projectile.

[0092] Le passage d'un repère à l'autre se fait par la connaissance des angles d'Euler Ψ , Θ et Φ . Ces angles sont obtenus habituellement par l'intégration des composantes du vecteur instantané de rotation dans un repère lié au projectile, vecteur qui est mesuré habituellement par une unité de mesures inertielles embarquée utilisant des gyromètres.

[0093] On voit sur la figure 6 qu'il est également possible d'exprimer le vecteur champ magnétique \vec{H} dans le repère du projectile en fonction des seuls angles d'Euler Ψ et Θ . Cependant la connaissance de H ne permet pas de connaître l'angle d'Euler Φ .

[0094] Il n'est donc pas possible de calculer directement les vitesses de roulis (p), tangage (q) et lacet (r) dans le repère projectile directement à partir de la mesure de H. Or ces vitesses sont normalement nécessaires pour assurer le pilotage.

[0095] Selon un autre mode de réalisation de l'invention on considèrera les rotations apparentes (mesures pseudo-gyrométriques) de la projection du vecteur champ magnétique terrestre dans les plans de tangage ($X_m O Z_m$), de lacet ($Y_m O X_m$) ainsi que dans le plan $Y_m O Z_m$ (perpendiculaire à l'axe de roulis X_m).

[0096] Les figures 7a, 7b et 7c montrent ces projections.

[0097] La figure 7a montre ainsi la projection H_{mXZ} du vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} dans le plan de tangage $X_m O Z_m$. Cette projection fait avec l'axe OZ_m un angle ρ_1 .

[0098] La figure 7b montre la projection H_{mXY} du vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} dans le plan de lacet $X_m O Y_m$. Cette projection fait avec l'axe de roulis OX_m un angle ρ_2 .

[0099] La figure 7c enfin montre la projection H_{mYZ} du vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} dans le plan $Y_m O Z_m$ perpendiculaire à l'axe de roulis OX_m . Cette projection fait avec l'axe OY_m un angle ρ_3 .

[0100] Ces projections sont aisément calculées par l'unité de calcul 4 à partir des mesures du vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} faites par le ou les capteurs 6. Il suffit en effet de ne retenir que les deux composantes

du vecteur H dans le plan considéré, la troisième étant nulle.

[0101] Conformément à l'invention on évaluera les variations en fonction du temps (dp_1/dt et dp_2/dt) des angles p_1 et p_2 et on utilisera ces dérivées dans l'algorithme d'asservissement du pilotage en tangage et lacet, en lieu et place respectivement des vitesses de rotation en tangage q et en lacet r .

[0102] On écrira ainsi $dp_1/dt = q_m$ et $dp_2/dt = r_m$

[0103] On pourrait bien entendu considérer à la place de p_1 et p_2 les angles entre la projection du champ magnétique terrestre et les autres axes OX_m (figure 7a) ou OY_m (figure 7b).

[0104] Par ailleurs on utilisera dans l'algorithme d'asservissement en roulis la valeur de l'angle p_3 calculée en lieu et place de l'angle de roulis Φ (on écrira : $p_3 = \Phi_m$). On pourrait là encore considérer à la place de p_3 l'angle entre H_{mYZ} et OZ_m (en appliquant éventuellement une correction angulaire).

[0105] En particulier, lorsque le vecteur champ magnétique terrestre \vec{H} est quasiment colinéaire à l'axe de roulis Ox_m , on pourra utiliser un dispositif de levée de doute pour éviter les sauts de phase (modulo π) lors de la mesure. On pourra par exemple retenir par filtrage la valeur $\Phi_{m(t+dt)}$ la plus proche de $\Phi_{m(t)}$.

[0106] Bien entendu les différents coefficients correcteurs des chaînes d'asservissement seront choisis par l'Homme du Métier en fonction des caractéristiques mécaniques du projectile et des servomécanismes.

[0107] On a réalisé une simulation comparative du procédé de guidage et pilotage selon l'invention avec plusieurs procédés de guidage et pilotage connus. Ces procédés connus sont mis en oeuvre pour une munition à guidage terminal et ils utilisent des unités de mesures inertielles complètes associant gyromètres et accéléromètres aussi bien pour le pilotage que pour le guidage ainsi qu'un autodirecteur à écartomètre.

[0108] Le CEP (critère d'efficacité) est un critère qui est égal au rayon d'un cercle centré sur la cible et à l'intérieur duquel se trouvent 50% de la distribution des points d'impact des projectiles tirés.

[0109] Ce coefficient est généralement compris entre 0,5 m et 0,9 m pour les projectiles connus.

[0110] On a simulé le comportement d'un projectile ayant la même géométrie que les projectiles connus mais dans lequel les gyromètres ont été supprimés et remplacés par un capteur magnétique mesurant les trois composantes du champ magnétique terrestre dans un repère lié au projectile.

[0111] Le calculateur de ce projectile incorpore des algorithmes de guidage et pilotage tels que décrits précédemment : une loi de guidage faisant intervenir la projection du vecteur champ magnétique sur le plan de guidage Vp/Los , et un algorithme de pilotage remplaçant q , r et Φ par les valeurs déduites des projections du champ magnétique sur les plans de tangage, lacet et roulis.

[0112] Le CEP pour un tel projectile de l'ordre de 1,5 m, ce qui est tout à fait acceptable compte tenu du coût moindre du dispositif de guidage / pilotage mis en oeuvre.

[0113] Il est bien entendu possible de mettre en oeuvre dans un projectile uniquement le procédé de pilotage, le guidage étant alors obtenu par un autre moyen, par exemple au moyen d'un GPS (dispositif de positionnement par satellites). Le procédé selon l'invention permet dans ce cas de faire encore l'économie des gyromètres, composants fragiles et très coûteux.

[0114] On pourra en particulier associer le procédé de pilotage selon l'invention à un procédé de guidage classique mettant en oeuvre une loi de poursuite simple en lieu et place d'une loi de navigation proportionnelle.

[0115] La loi de poursuite est bien connue de l'Homme du Métier et mise en oeuvre pour des cibles fixes ou peu rapides. Avec cette loi on cherche constamment à maintenir le vecteur vitesse Vp du projectile en direction de la cible détectée.

[0116] La trajectoire qui résulte de ce type de loi est connue sous le nom de « courbe du chien ».

[0117] On considèrera pour simplifier les calculs que le vecteur vitesse Vp du projectile est confondu avec l'axe Xm du projectile.

[0118] Le calculateur de guidage fournira alors à la chaîne de pilotage des consignes d'accélération en tangage et lacet. Ces consignes seront élaborées d'une façon simple. On mesure à partir de l'écartomètre qui fournit les angles d'écart entre le vecteur vitesse du projectile Vp (supposé confondu avec l'axe Xm du projectile) et les vecteurs projections du vecteur ligne de visée \vec{Los}

sur respectivement les plans de tangage et de lacet.

[0119] La valeur mesurée de cet écart angulaire dans le plan tangage (plan $XmOZm$) est comparée à une valeur de consigne (nulle dans le cas présent puisque l'on cherche à annuler cet écart). La différence entre cette valeur de consigne et la valeur mesurée est multipliée par un coefficient de gain adapté avant d'être appliquée comme consigne d'accélération à l'entrée de la chaîne de pilotage en tangage.

[0120] La chaîne de pilotage en tangage telle que décrite précédemment en référence à la figure 5a permet de contrôler l'accélération en tangage, donc de contrôler l'orientation du vecteur vitesse Vp dans le plan tangage (la vitesse de rotation du vecteur vitesse Vp du projectile étant quasiment proportionnelle à l'accélération normale appliquée au projectile).

[0121] On procède de la même façon dans le plan lacet ($XmOYm$) en appliquant à l'entrée de la chaîne de pilotage en lacet une commande en accélération fonction de l'écart entre une consigne (nulle dans le cas présent) et l'écart angulaire mesuré dans le plan lacet entre le vecteur vitesse Vp et la projection du vecteur la ligne de visée Los sur le plan lacet ($XmOYm$).

[0122] La loi de poursuite pourra être améliorée de façon classique d'une part en prenant en compte l'incidence du projectile et d'autre part en introduisant un biais

permettant un formage de trajectoire.

[0123] On pourra estimer les angles d'incidence du projectile en tangage et en lacet à l'aide des accéléromètres 10a et 10b.

[0124] Les estimations des angles d'incidence du projectile en tangage et en lacet permettront d'améliorer les performances de la loi de poursuite selon un procédé classique (loi de poursuite avec avance).

[0125] Dans tous les cas le principe du contrôle en roulis du projectile exposé précédemment reste inchangé (figure 5b).

[0126] Il est bien entendu possible d'appliquer l'invention à un projectile comportant un nombre quelconque d'ailettes de pilotage. Que ces ailettes soient disposées en partie arrière du projectile (gouvernes) ou bien à l'avant du projectile (canards).

Revendications

1. Procédé de guidage terminal et/ou de pilotage d'un projectile vers une cible, procédé dans lequel on dé-

termine l'orientation d'un vecteur \vec{V}_p vitesse du

projectile puis on applique une loi de guidage, puis un algorithme de pilotage permettant de réorienter le projectile vers sa cible, procédé **caractérisé en ce que** l'on mesure les trois composantes du champ magnétique terrestre \vec{H} dans un repère lié au projectile et on utilise ces mesures dans la loi de guidage et/ou l'algorithme de pilotage comme une référence fixe permettant d'orienter au moins partiellement le repère lié au projectile par rapport à un repère terrestre.

2. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon la revendication 1, dans lequel on met en oeuvre un détecteur de cible permettant de localiser la cible dans un repère lié au projectile, et d'en déduire les coordonnées d'un vecteur ligne de visée \vec{Los} entre

cible et projectile, procédé **caractérisé en ce que**, pour assurer le pilotage :

on détermine dans le repère lié au projectile la

projection \vec{N} du vecteur champ magnétique

terrestre \vec{H} dans un plan de guidage défini par

les vecteurs ligne de visée \vec{Los} et vitesse

\vec{V}_p du projectile,

on applique une loi de guidage proportionnelle à la variation en fonction du temps $\dot{\lambda} = d\lambda/dt$ de

l'angle λ entre cette projection \vec{N} du champ

magnétique et le vecteur ligne de visée \vec{Los} .

3. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la loi de guidage s'exprime de la façon suivante :

$$\vec{\gamma}_{\text{cmd}} = K \dot{\lambda} \vec{u}, \text{ expression dans laquelle}$$

le $\vec{\gamma}_{\text{cmd}}$ représente le vecteur accélération

consigne de correction, $\dot{\lambda}$ représente la variation en fonction du temps ($d\lambda/dt$) de l'angle λ entre la pro-

jection \vec{N} du champ magnétique et le vecteur ligne

de visée \vec{Los} et \vec{u} représente un vecteur unitaire

perpendiculaire au vecteur vitesse \vec{V}_p du projectile et situé dans le plan de guidage.

4. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce que** pour déterminer l'orientation du vecteur vitesse du projectile dans le repère lié au projectile on considère que ce vecteur est colinéaire à l'axe OX_m du repère lié au projectile.

5. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce que**, pour déterminer l'orientation du vecteur vitesse du projectile dans le repère lié au projectile, on utilise les signaux fournis par au moins deux accéléromètres orientés respectivement suivant les axes de mesure en tangage (OY_m) et en lacet (OZ_m) du projectile.

6. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** pour assurer le pilotage en asservissant le positionnement des gouvernes en lacet et/ou en tangage :

on détermine la projection du vecteur champ magnétique sur un des plans de lacet (X_mOY_m) et/ou de tangage (X_mOZ_m) du projectile,

on utilise dans une chaîne d'asservissement en lacet et/ou en tangage, en lieu et place de la vitesse de rotation en lacet et/ou tangage, la dérivée par rapport au temps d'un angle fait par la projection ainsi réalisé avec un des axes du plan considéré.

7. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** pour asservir le positionnement des gouvernes en lacet :

on détermine la projection du vecteur champ magnétique sur le plan de lacet ($X_m O Y_m$) du projectile,

on calcule la variation en fonction du temps ($r_{mes} = d\rho_2/dt$) de l'angle ρ_2 fait par cette projection avec l'axe de roulis (Ox_m),

on utilise dans une chaîne d'asservissement en lacet la valeur r_{mes} ainsi calculée en lieu et place de la mesure de vitesse de rotation en lacet r .

5

10

8. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon une des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce que** pour asservir le positionnement des gouvernes en tangage :

on détermine la projection du vecteur champ magnétique sur le plan de tangage ($X_m O Z_m$) du projectile,

on calcule la variation en fonction du temps ($q_{mes} = d\rho_1/dt$) de l'angle ρ_1 fait par cette projection avec l'axe de rotation en lacet (OZ_m),

on utilise dans une chaîne d'asservissement en tangage la valeur q_{mes} ainsi calculée en lieu et place de la mesure de vitesse de rotation en tangage q .

15

20

25

9. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** pour asservir le positionnement des gouvernes en roulis :

on détermine la projection du vecteur champ magnétique sur le plan de roulis ($Z_m O Y_m$) du projectile,

on mesure l'angle ρ_3 fait par cette projection avec un des axes dudit plan, par exemple l'axe de rotation en tangage (OY_m),

on utilise dans une chaîne d'asservissement en roulis la valeur ρ_3 ainsi calculée en lieu et place de l'angle de roulis Φ .

30

35

40

10. Procédé de guidage et/ou de pilotage selon une des revendications 6 à 9, **caractérisé en ce que** pour assurer le guidage du projectile on met en oeuvre une loi de poursuite.

45

11. Dispositif de guidage et/ou de pilotage d'un projectile vers une cible mettant en oeuvre le procédé selon une des revendications 1 à 10, dispositif **caractérisé en ce qu'il** associe un détecteur de cible ou écartomètre, un calculateur incorporant un algorithme de guidage et/ou de pilotage du projectile, des moyens de pilotage du projectile, au moins deux accéléromètres orientés suivant les axes de mesure d'accélération en tangage (OZ_m) et d'accélération en lacet (OY_m) du projectile et un ou plusieurs senseurs magnétiques disposés de façon à mesurer les trois composantes du vecteur champ magnétique terrestre H dans un repère lié au projectile, l'algorithme de

50

55

guidage et/ou pilotage utilisant les mesures des composantes du vecteur champ magnétique terrestre

\vec{H} comme référence fixe permettant d'orienter au moins partiellement le repère lié au projectile par rapport à un repère terrestre.

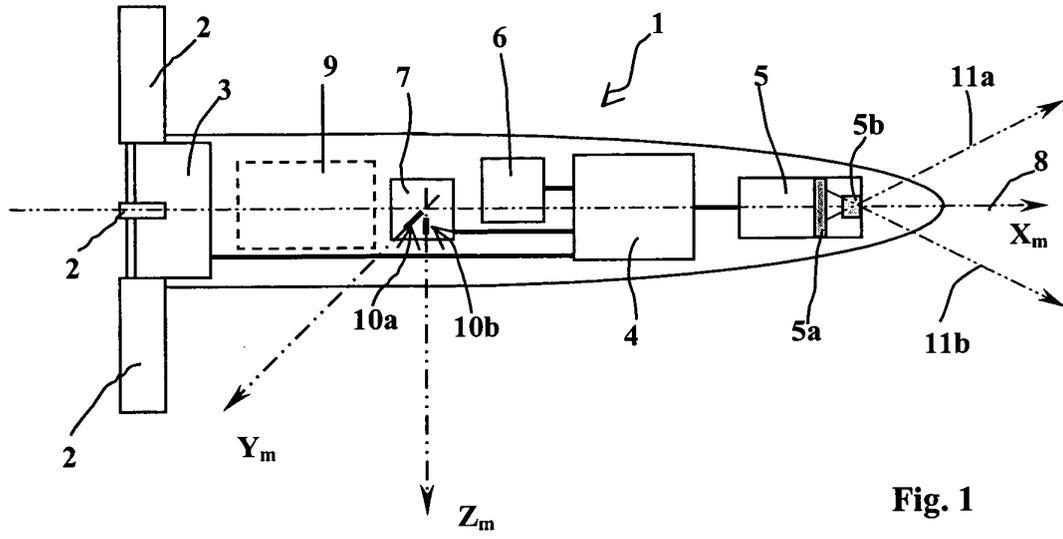


Fig. 1

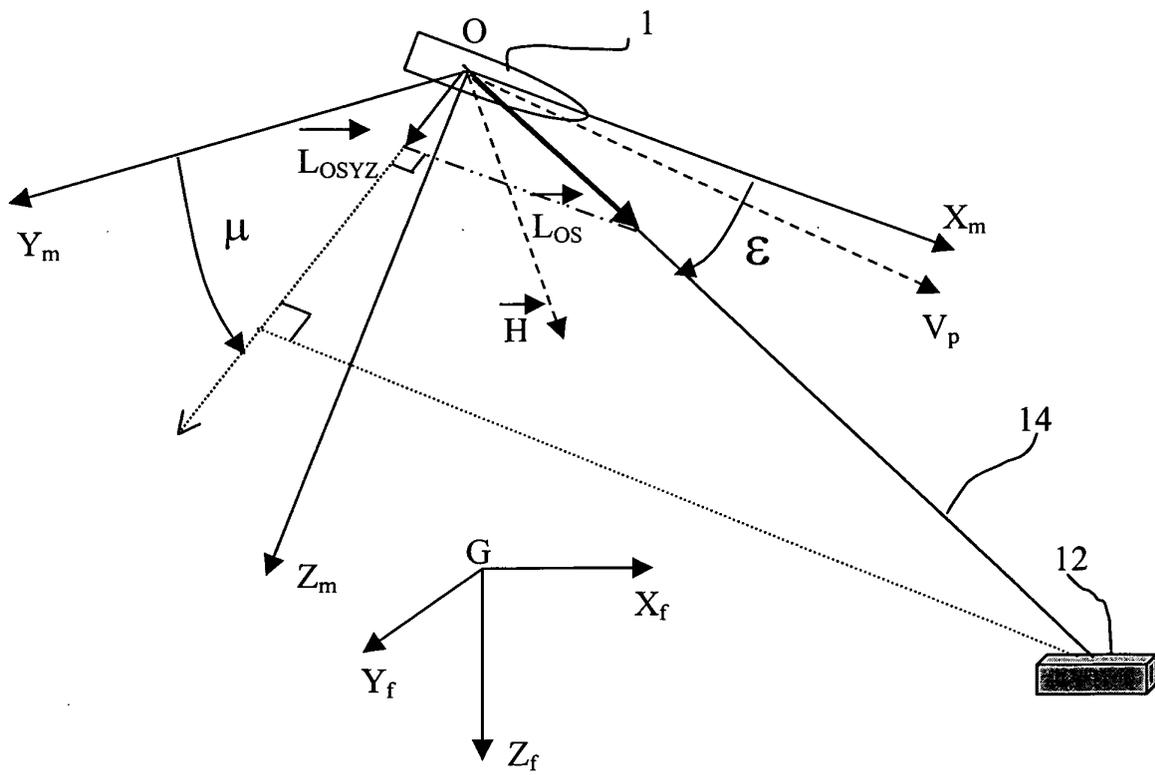


Fig. 2

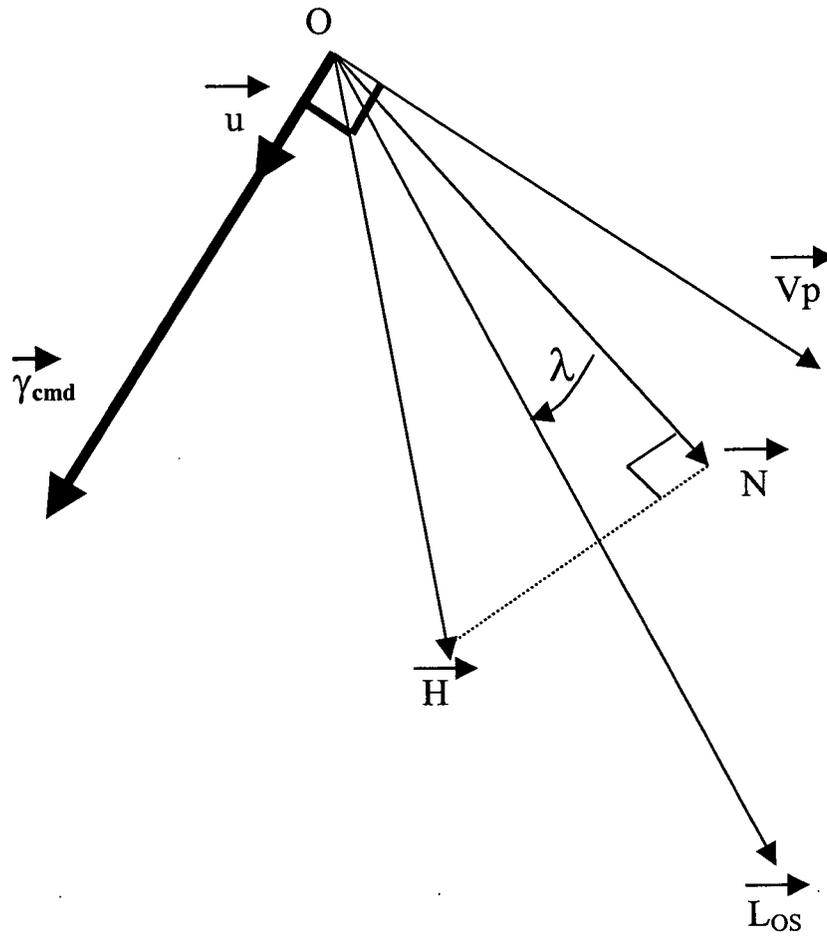


Fig. 3

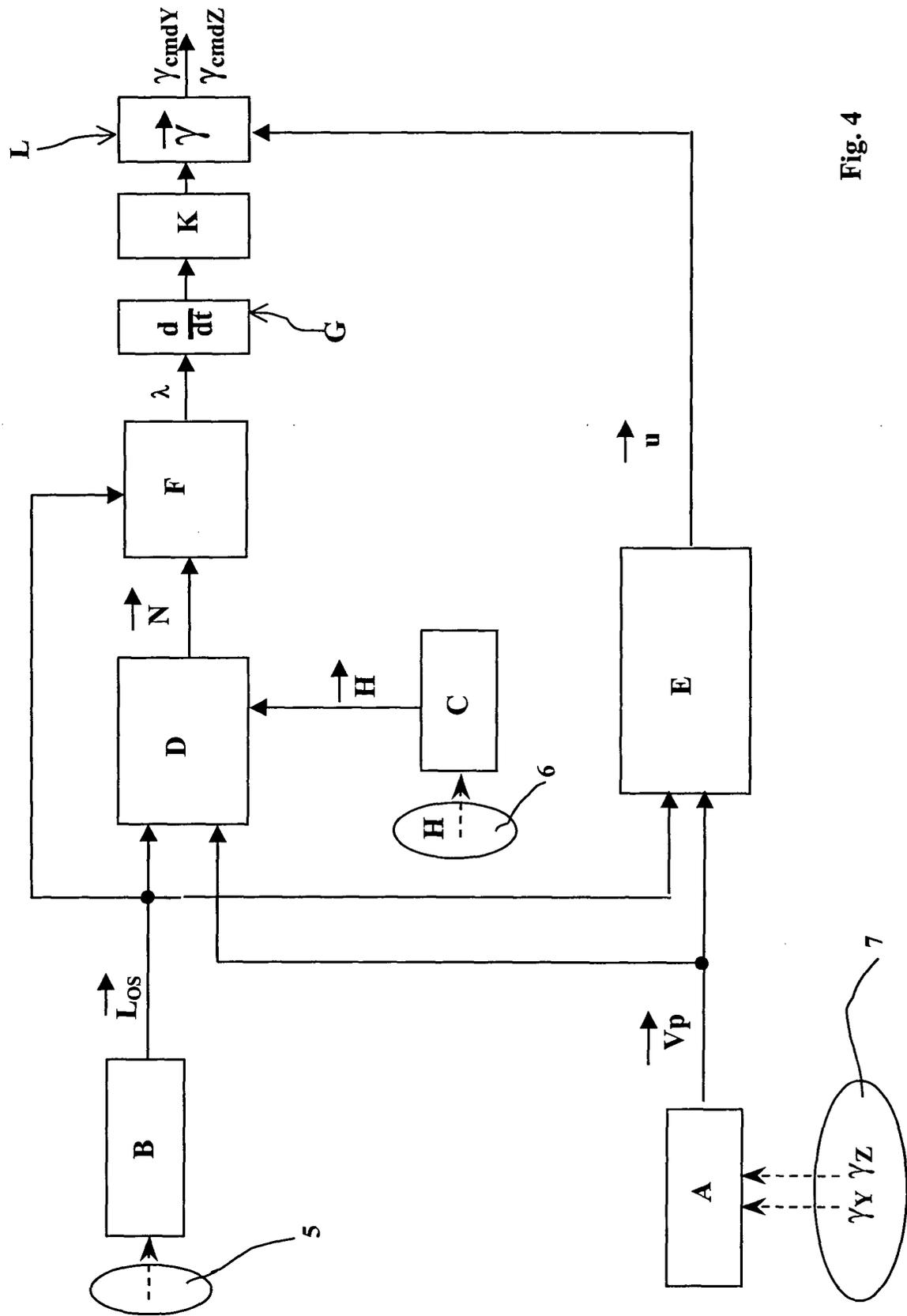


Fig. 4

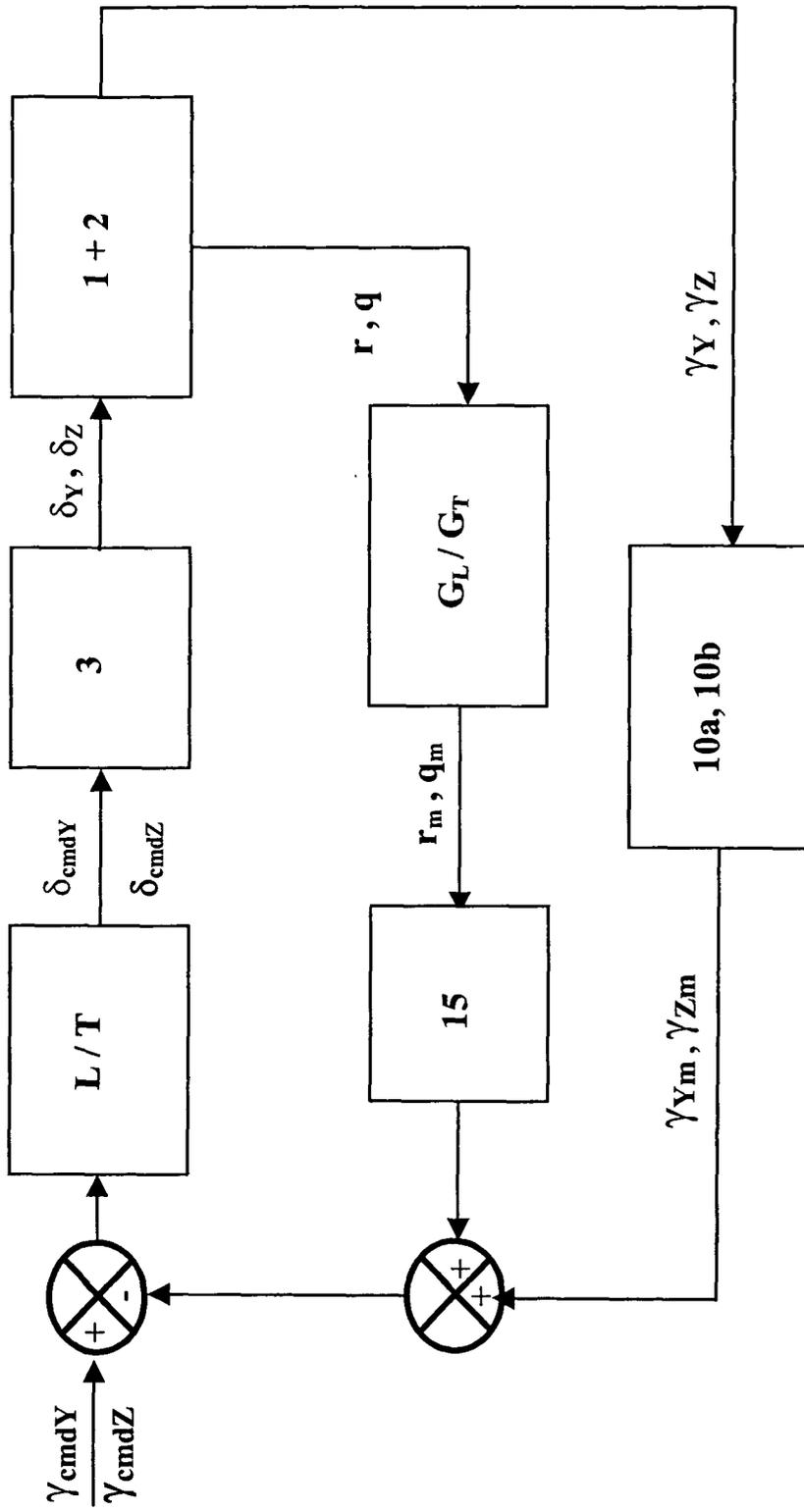


Fig. 5a

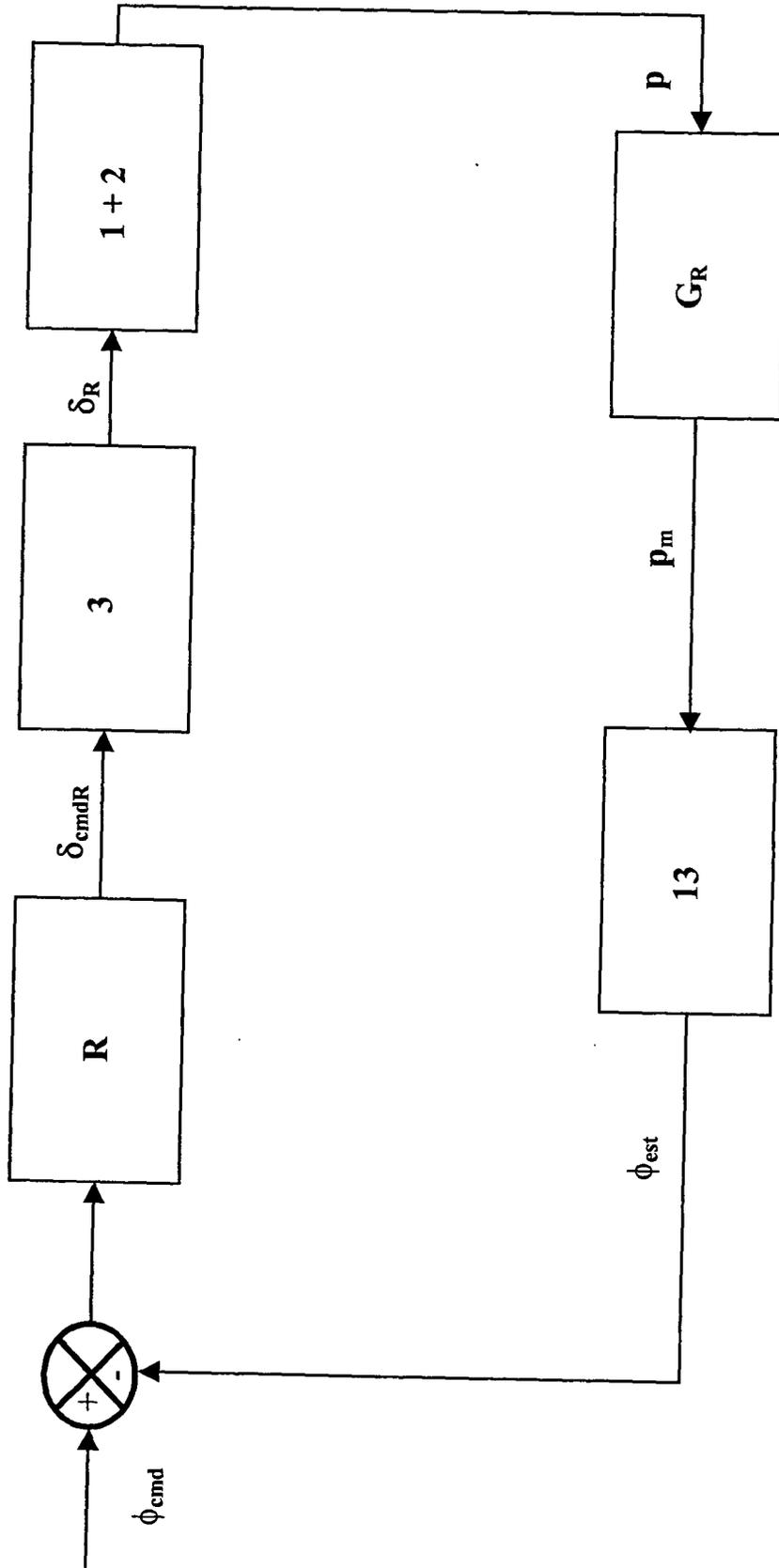


Fig. 5b

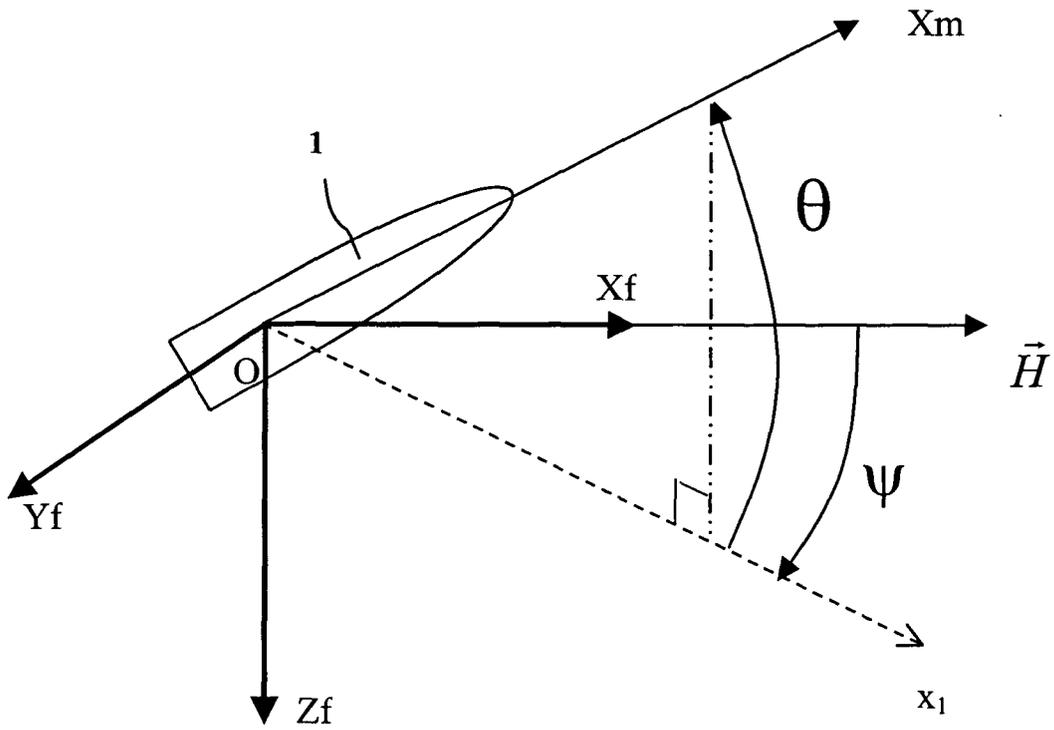


Fig. 6

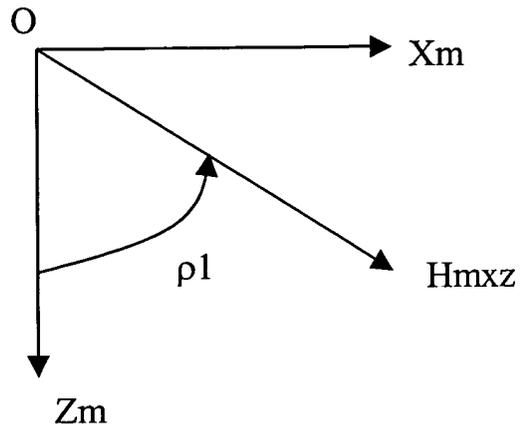


Fig. 7a

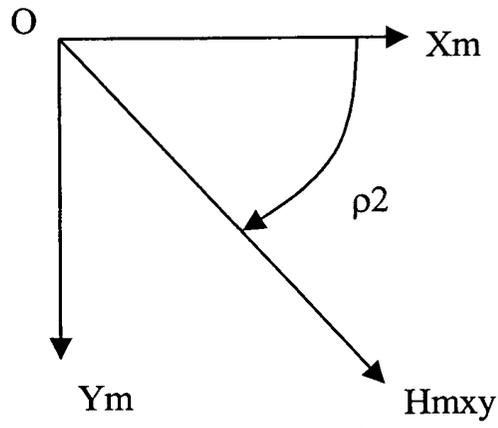


Fig. 7b

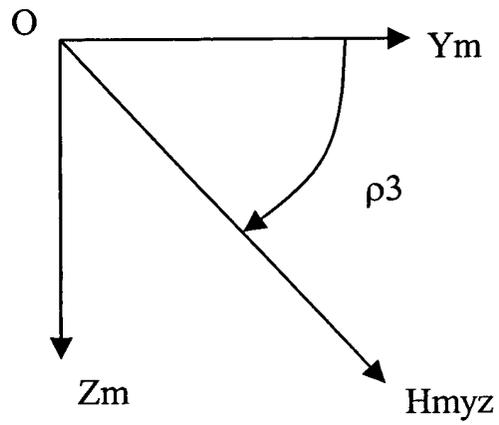


Fig. 7c



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
X	EP 1 273 874 A (OERLIKON CONTRAVES GESELLSCHAFT MIT BESCHRAENKTER HAFTUNG) 8 janvier 2003 (2003-01-08) * abrégé *	1,2,11	F41G7/22
A	* page 2, colonne 1, ligne 3 - page 3, colonne 3, ligne 6 * -----	3-10	
X	US 2002/059027 A1 (AN DONG ET AL) 16 mai 2002 (2002-05-16) * abrégé *	1,11	
A	* colonne 4, ligne 7 - colonne 10, ligne 61; figures 1-7 * -----	2-10	
X	DE 38 29 573 A1 (MESSERSCHMITT-BOELKOW-BLOHM GMBH, 8012 OTTOBRUNN, DE) 8 mars 1990 (1990-03-08) * abrégé *	1,11	
A	* colonne 1, ligne 55 - colonne 5, ligne 45; figures 1-4 * -----	2-10	
A	DE 31 31 394 A1 (MESSERSCHMITT-BOELKOW-BLOHM GMBH; MESSERSCHMITT-BOELKOW-BLOHM GMBH, 80) 3 mars 1983 (1983-03-03) * abrégé * * page 4, ligne 19 - page 8, ligne 34; figures 1-6 * -----	1-11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) F41G
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 31 octobre 2005	Examineur Blondel, 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 : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 05 29 1446

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

31-10-2005

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1273874	A	08-01-2003	DE 10132317 A1	16-01-2003
US 2002059027	A1	16-05-2002	AUCUN	
DE 3829573	A1	08-03-1990	AUCUN	
DE 3131394	A1	03-03-1983	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82