

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

**N° 80 17495**

---

⑤④ Procédé et dispositifs optiques pour la détermination d'un paramètre d'attitude d'un corps.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 B 11/26.

②② Date de dépôt..... 7 août 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 6 du 12-2-1982.

---

⑦① Déposant : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES, ONERA,  
résidant en France.

⑦② Invention de : Christian Pouit.

⑦③ Titulaire :

⑦④ Mandataire : André Netter, conseil en brevets d'invention,  
40, rue Vignon, 75009 Paris.

La présente invention est relative à la mesure d'angles et vise notamment à déterminer à distance au moins un angle caractéristique de la position angulaire ou "attitude" d'un corps.

5           La position d'un corps dans l'espace par rapport à un système d'axes peut être définie par six paramètres dont trois représentent les coordonnées de son centre de gravité, par exemple, et les trois autres caractérisent sa position angulaire ou "attitude" autour de son centre de gravité en définissant, par exemple, l'orientation d'un système d'axes lié à  
10           ce corps par rapport au système d'axes de référence:

          Si un tel corps est un objet éloigné, ou peu accessible, il peut être parfois difficile de déterminer à distance un ou plusieurs de ses paramètres caractéristiques d'attitude, même lorsque la position de son centre de gravité dans  
15           l'espace est par ailleurs connue par des moyens de localisation conventionnels, par exemple radioélectriques. La présente invention permet d'effectuer une telle détermination avec précision pour l'un au moins des paramètres caractéristiques  
20           de l'attitude du corps.

          Selon l'invention, pour déterminer un paramètre d'attitude d'un corps, on envoie un faisceau lumineux sur un codeur optique solidaire du corps et agencé pour produire un faisceau lumineux résultant dont la composition spectrale dépend de  
25           l'attitude du corps. Le paramètre recherché est obtenu en analysant le spectre du signal produit par le codeur et en le comparant avec des spectres étalons.

          Un tel codeur optique d'attitude d'un corps, conformément à un aspect de l'invention, est agencé pour recevoir un  
30           faisceau de lumière polychromatique, sous une incidence fonction de l'attitude du corps, et il est caractérisé en ce qu'il est constitué par un dispositif optique comprenant un filtre interférentiel qui produit un faisceau lumineux résultant dont le spectre de fréquence est caractéristique de ladite  
35           incidence.

          On sait que les filtres interférentiels sont des lames à faces parallèles bien connues en métrologie pour la mesure très précise des longueurs. Ils ont la propriété de réaliser une sélection de fréquence rigoureuse dans le spec-

tre d'une lumière incidente pour ne laisser passer qu'une lumière comportant un nombre fini de longueurs d'ondes distinctes définies de façon très précise, en fonction, notamment, de l'épaisseur de la lame.

5 Conformément à l'invention, on prévoit d'appliquer un tel filtre à la détermination de l'attitude d'un corps en mettant à profit le fait que les longueurs d'onde des rayons lumineux transmis sont fonction également de l'angle d'incidence de la lumière frappant la face d'entrée du filtre. On peut  
10 donc déterminer l'angle d'incidence d'un faisceau de lumière polychromatique sur le corps dont on désire connaître un paramètre d'attitude, en analysant le spectre de fréquence de la lumière issue du filtre interférentiel.

Selon un mode de réalisation dans lequel le faisceau  
15 incident est envoyé à un corps mobile suivant une ligne de visée, le codeur optique dans lequel est monté le filtre interférentiel comprend un rétrorélecteur afin de transmettre le faisceau résultant dans la direction de la ligne de visée mais en sens inverse du faisceau incident. Ainsi, on  
20 peut recueillir au point de visée le faisceau lumineux renvoyé par le codeur et en analyser le spectre de fréquence.

Selon une caractéristique supplémentaire, le codeur optique est équipé en outre d'un polariseur pour polariser le faisceau résultant dans un plan dont l'orientation fournit  
25 une deuxième indication caractéristique de l'attitude du corps auquel il est associé.

L'invention concerne également un procédé de mesure à distance d'un angle caractéristique de l'attitude d'un corps dans lequel on envoie un faisceau de lumière polychromatique sur un système optique solidaire du corps, sous une  
30 incidence fonction de l'attitude de ce corps, caractérisé en ce qu'on envoie le faisceau de lumière sur un codeur optique comprenant un filtre interférentiel qui produit un faisceau lumineux résultant dont le spectre de fréquence est caractéristique de ladite incidence, on capte ledit faisceau résultant et on analyse son spectre de fréquence pour en déduire  
35 une mesure d'angle caractéristique de l'attitude du corps.

De préférence, on utilise un faisceau incident de lumière blanche. Pour analyser le spectre de fréquence du

faisceau résultant on prévoit avantageusement de le recevoir sur un second filtre interférentiel et de faire varier l'incidence du faisceau résultant sur ce filtre en modifiant l'orientation de celui-ci. La détection des niveaux  
5 d'énergie lumineuse à la sortie du filtre en fonction de l'incidence permet de décoder l'information contenue dans le spectre de fréquence de la lumière du faisceau résultant.

L'invention a également pour objet un appareillage de mesure à distance d'un angle caractéristique de l'attitude  
10 d'un corps, comprenant une source lumineuse propre à envoyer un faisceau de lumière polychromatique, sous une incidence fonction de l'attitude de ce corps par rapport à un repère de référence, sur un système optique, qui est caractérisé en ce qu'il comporte un codeur optique solidaire du corps et  
15 comprenant un filtre interférentiel pour produire, à partir du faisceau lumineux reçu, un faisceau résultant dont le spectre est fonction de ladite incidence, et un récepteur comprenant un détecteur sensible au spectre de fréquence dudit faisceau résultant pour fournir ladite mesure d'angle  
20 caractéristique.

Selon une caractéristique supplémentaire, le détecteur comporte un filtre interférentiel du même type, transparent ou réfléchissant, que celui qui équipe le codeur optique et des moyens de détection du niveau d'énergie lumineuse à  
25 la sortie de ce filtre interférentiel.

Divers modes de mise en oeuvre de ce détecteur à filtre interférentiel sont prévus pour exploiter les indications de niveau d'énergie fournies par les moyens de détection en fonction de l'incidence de rayons lumineux issus  
30 du faisceau résultant sur ce deuxième filtre interférentiel, afin de décoder l'information contenue dans le spectre de fréquence de ce faisceau résultant.

Avantageusement, le récepteur est également équipé d'un analyseur de lumière polarisée orientable afin de détecter l'orientation du plan selon lequel la lumière du faisceau  
35 résultant est polarisée par un polariseur associé au système optique solidaire du corps.

La description qui suit est donnée à titre d'exemple et se réfère aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 est une vue schématique d'un filtre interférentiel ;

la figure 2 est une vue schématique d'un codeur optique à rétroreflecteur selon l'invention ;

5 les figures 3 et 4 sont des vues respectivement en coupe et en perspective d'une variante de réalisation d'un codeur optique selon l'invention ;

la figure 5 est un schéma de principe d'un appareillage de repérage de la position angulaire d'un corps selon l'invention ;

10 les figures 6 et 7 illustrent une variante de l'appareillage de la figure 5 ;

la figure 8 représente, de façon schématique, une autre forme de réalisation d'un appareillage mettant en oeuvre les principes de l'invention.

15 Un filtre interférentiel connu (figure 1) du type utilisé dans les interféromètres de PEROT et FABRY, comprend une lame 10 à faces parallèles 12 et 14 constituée en un matériau transparent d'indice de réfraction  $n$  et dont chacune des faces 12 et 14 est revêtue d'une fine couche, respectivement 13 et 15, d'un revêtement réfléchissant, suffisamment mince pour laisser passer une partie de la lumière frappant la face correspondante.

25 Lorsqu'un faisceau incident de lumière polychromatique, symbolisé par le rayon 16, frappe la face 12 de la lame, la plus grande partie de son énergie est réfléchié directement par la couche 13 selon une direction symbolisée par le rayon réfléchi 18. L'énergie non réfléchié est réfractée à l'intérieur de la lame selon la direction d'un rayon 20 et à son tour subit, pour partie, une réflexion sur la couche 15 selon un rayon 22, et pour partie une réfraction selon un rayon 24 qui sort de la lame 10 parallèlement au rayon 16. La lumière correspondant au rayon 22 peut, à son tour, subir au contact de la couche réfléchissante 13 une réflexion à l'intérieur de la lame ou une réfraction, et ainsi de suite.

35 On a désigné par 25, 27, etc... les rayons issus de la face 12 dans une direction parallèle au rayon réfléchi 18, après un ou plusieurs trajets dans la lame 10, et par 24, 26, 28, etc... les rayons sortant de la face 14 parallèlement au

rayon 24 après au moins un trajet dans la lame 10.

Conformément à une propriété fondamentale des filtres interférentiels, la lumière des rayons 24, 26, 28 a un spectre de fréquence limité à un nombre de raies spectrales bien déterminées (monochromatiques) qui seules sont admises à traverser le filtre. Les longueurs d'ondes pour lesquelles la lame 10 est ainsi transparente à la lumière du rayon 16 sont données par la relation :

$$K \lambda = 2ne \cos.r, \quad (1)$$

dans laquelle :

$K$  est un nombre entier,  
 $\lambda$  est une longueur d'onde,  
 $n$  est l'indice de la lame,  
 $e$  est l'épaisseur de la lame,  
 $r$  est l'angle d'incidence du rayon 20 sur la face 14 à l'intérieur de la lame ; cet angle est relié à l'angle d'incidence  $i$  du rayon 16 sur la lame par la relation

$$\sin. i = n \sin. r. \quad (2)$$

Lorsque la lumière du faisceau incident 16 est blanche et se caractérise donc par un spectre de fréquence continu, la lumière constitutive des rayons 24, 26 et 28 est formée par la superposition de raies monochromatiques (spectre cannelé), dont les fréquences  $F_1, F_2 \dots, F_k$  sont données par la formule suivante :

$$F_k = \frac{k}{2ne} \frac{1}{\cos.r} \times C \quad (3)$$

$C$  étant la vitesse de la lumière.

Si l'on considère la lumière provenant de la face d'entrée 12 de la lame 10, la lumière des rayons 25, 27, etc... est composée de raies également monochromatiques obéissant à la formule précédente mais en opposition de phase avec la lumière du rayon réfléchi principal 18. La lumière recueillie à la sortie de la face 12 de la lame 10 présente un spectre à raies sombres qui correspondent à des fréquences dont l'énergie est atténuée par les ondes en opposition de phase des rayons 25 et 27.

Ainsi, lorsqu'on envoie un faisceau de lumière polychromatique sur un filtre interférentiel du type représenté à la figure 1 monté sur un corps éloigné, le spectre de fré-

quence de la lumière sortant du filtre contient une information sur l'angle d'incidence  $i$  du faisceau sur la lame constitutive de ce filtre, conformément aux équations (1) et (2). Cette lame constitue donc un codeur optique d'un paramètre angulaire caractéristique de la position angulaire ou "attitude" du corps par rapport à la direction du faisceau incident. Ce codeur optique peut fonctionner en réfraction ou en réflexion selon que l'on choisit de capter la lumière sortant du filtre du côté opposé au faisceau incident par rapport à la lame ou du même côté.

Un codeur optique d'un paramètre d'attitude conforme à l'invention (figure 2) comprend un filtre interférentiel 40 et un trièdre trirectangle rétroréfecteur 42 composé de trois miroirs plans dont les faces réfléchissantes sont perpendiculaires les unes aux autres et tournées vers l'intérieur du trièdre. Un tel trièdre a la propriété connue de renvoyer tout rayon incident qui vient frapper une quelconque de ses faces réfléchissantes parallèlement et en sens opposé, tant que le rayon incident reste dans un champ angulaire de  $\pm 30^\circ$  par rapport à l'axe de ce trièdre. La lame 40 est placée devant le trièdre 42 sur le trajet d'un faisceau de lumière incident symbolisé par un rayon 45 qui vient frapper une face d'entrée 41 de la lame au point 46 sous une incidence  $i$ . Une partie de la lumière du faisceau 45 est réfléchi par la lame dans la direction de la flèche 47 tandis qu'une autre partie après la traversée de la lame 40 sort par sa face 43 dans la direction d'un rayon émergent 48 et vient frapper l'une des faces 49 du trièdre 42 au point 50. Après réflexion sur cette face, le rayon 48 tombe sur une autre face 51 du trièdre au point 52 pour donner naissance à un rayon réfléchi 54 parallèle et de sens inverse au rayon 48 qui tombe sur la face interne 43 de la lame 40 sous une incidence  $i'$  égale à  $i$  pour en ressortir selon un rayon 56 parallèle en sens opposé au rayon 45. Pour simplifier la figure, on a supposé que le rayon 45 était parallèle au plan de la troisième face réfléchissante 53 du trièdre 42 et ne subit que deux réflexions à l'intérieur de ce dernier. Dans le cas général, le rayon 56 est issu du rayon 45 après trois réflexions sur les faces du trièdre 42.

L'énergie de la lumière constitutive du rayon 48 est pratiquement nulle pour toutes les longueurs d'ondes à l'exception d'un nombre fini de raies dont les fréquences sont données par la relation (3). Le spectre de cette lumière est fonction de l'angle  $i$  d'incidence du rayon 45 sur la normale à la face 41 de la lame 40. En vertu des propriétés du trièdre rétroréflécteur 42, le rayon 54 retransverse la lame 40 en sens inverse. Ainsi, la composition spectrale du rayonnement présent à la sortie du codeur optique constitué par le filtre interférentiel 40 et le trièdre 42 contient une information codée sur la valeur d'un paramètre d'attitude du corps.

Une variante de réalisation d'un codeur optique (figures 3 et 4) met en oeuvre un filtre interférentiel fonctionnant par réflexion. Il comprend un trièdre trirectangle 55 constitué en un matériau transparent tel que du verre ayant deux faces 57 et 59 recouvertes d'un dépôt réfléchissant et une troisième face 61 orthogonale aux deux premières sur laquelle est accolée une lame de filtre interférentiel 63.

En fonctionnement, un faisceau 60 de lumière blanche incidente tombe sur le dioptre d'entrée 58 du trièdre 55 et le traverse pour rencontrer la face 61 de ce dernier. Une partie de l'énergie du faisceau incident pénètre dans la lame 63 et est réfléchi par la face 62 de cette lame opposée à la face 61 du trièdre et revient dans le trièdre pour se mélanger à la lumière directement réfléchi par la face 61.

La lumière résultante se réfléchit sur la face 59 et ressort du trièdre par le dioptre 58 selon la direction du rayon émergent 64 dans la direction opposée à celle du faisceau 60. Le spectre de la lumière du rayon émergent 64 comporte des raies sombres correspondant à des longueurs d'ondes qui ont été atténuées par des rayons en opposition de phase ayant traversé le filtre interférentiel 63. Ce spectre d'extinction, ou d'atténuation, est porteur d'une information sur l'angle d'incidence du faisceau 60 sur la face 61 du filtre 63.

Dans cette dernière réalisation du codeur, le filtre interférentiel 63 peut être constitué par un dépôt d'une

mince couche transparente, par exemple de matière plastique, sur la face 61 préalablement métallisée, l'autre face 62, étant ensuite revêtue d'un dépôt métallique correspondant. Comme dans le cas de la figure 2, on a supposé que le trièdre 55 de la figure 3 était coupé par un plan parallèle à sa face 57, les rayons 60, 64 se propageant dans un plan parallèle à cette face.

Pour effectuer une mesure à distance d'un angle caractéristique de la position d'un corps 70, un codeur 72 (fig.5) est rendu solidaire d'une face 71 de ce corps. Il comporte un filtre interférentiel composé d'une lame 74 du type décrit précédemment, placée devant un trièdre rétroreflecteur 75. La normale 76 à la lame 74 définit un axe de référence pour repérer un paramètre de position angulaire du corps 70. Afin de suivre à distance les variations d'orientation de ce corps 70 à l'aide du transmetteur 72, un appareillage d'émission-réception 80 comprend une source de lumière blanche 82 associée à un réflecteur concave 84 et une lentille convergente 86 pour former un émetteur de lumière 88 propre à envoyer un faisceau de lumière blanche parallèle 90 selon un axe de visée que l'on peut pointer vers le transmetteur 72 associé au corps 70 grâce à une plate-forme de poursuite non représentée. Le faisceau 90 traverse une lame semi-transparente 92 en sortie de l'émetteur 88 et tombe sur le filtre 74 sous un angle d'incidence  $\varphi$  par rapport à la normale 76. A ce faisceau correspond, à la sortie du transmetteur 72, un faisceau résultant renvoyé vers la lame semi-transparente 92 qui le réfléchit en direction d'un miroir 94 incliné à  $45^\circ$  à l'entrée d'un dispositif de réception et de décodage 96.

Le dispositif 96 comprend, en outre, sur le trajet du faisceau réfléchi par le miroir 94, un filtre interférentiel 98 identique au filtre 74 suivi d'une lentille convergente 100 au foyer de laquelle est disposé un détecteur d'énergie lumineuse 102. Le filtre interférentiel 98 est monté à rotation autour d'un axe 104, perpendiculaire au plan de la figure dans cet exemple, de façon à pouvoir faire varier l'angle d'incidence  $\varphi'$  du faisceau 106 réfléchi par le miroir 94 par rapport à la normale 108 au filtre 98. Un dispositif comportant une échelle graduée 110 permet de repérer

la position angulaire de la lame de filtre 98 autour de son axe 104 pour fournir une mesure de l'angle  $\varphi'$ .

5 Le spectre de fréquence du faisceau 106 tombant sur le filtre interférentiel 98 est caractéristique de l'angle d'incidence  $\varphi$  du faisceau incident 90 sur le codeur 72. Le filtre 98 qui fonctionne par transmission comme le filtre 74 est transparent à l'énergie du faisceau 106 lorsque l'angle  $\varphi'$  est égal à l'angle  $\varphi$ .

10 En conséquence, lorsque l'énergie reçue par le détecteur 102 est maximale, l'inclinaison de l'axe 108 sur l'axe du faisceau issu du miroir 94 est une mesure de l'angle  $\varphi$ . On constate en outre que si, pour une même orientation du corps 70 dans l'espace, et donc de l'axe 76 par rapport à un repère lié au point de visée, la direction de la ligne de visée varie, l'angle  $\varphi'$  varie mais l'orientation de l'axe 15 108 par rapport audit repère lié au point de visée n'est pas modifiée.

20 Ainsi, par exemple, si l'axe 104 de rotation du filtre 98 est perpendiculaire au plan de visée, défini par la verticale au lieu de visée et la ligne de visée, et si l'on suppose que l'orientation de l'axe 76 varie en restant dans ce plan de visée quand le corps 70 se déplace, l'axe 108 correspondant au maximum d'énergie lumineuse détectée reste constamment parallèle à l'axe 76 dont il reproduit donc exactement l'orientation.

25 La mesure de l'angle  $\varphi'$  peut être effectuée avec une très grande précision à l'aide d'un vernier angulaire associé à l'échelle graduée 110, comme dans les procédés de mesure de déplacement de longueur par des procédés d'interférométrie, le maximum d'intensité lumineuse correspondant à la condition de transparence de la lame 98 pour la lumière du faisceau résultant 106 étant extrêmement aigu. Plus les lames 74 et 104 sont épaisses et plus est grande la résolution pour la détermination de l'angle recherché.

35 Selon une variante de réalisation d'un système de décodage de l'information contenue dans le spectre de fréquence du faisceau résultant, notamment en vue d'obtenir une détermination plus rapide de l'angle  $\varphi$ , on transforme le faisceau résultant 106 issu du codeur 72 en un faisceau de rayons di-

vergents que l'on fait tomber sur une lame interférentielle 120 (fig.6) fonctionnant par transmission, dont on a garni la face de sortie à l'aide d'un réseau ou barrette de diodes photodétectrices 122, selon une ligne parallèle au plan de la figure 6 (fig. 7). Le faisceau 106 issu du miroir de réception 94 est envoyé sur un ensemble de lentilles 124 et 126 d'axes parallèles au plan de la figure pour concentrer les rayons sur le réseau de diodes 122. La lame 120 est inclinée sur l'axe 130 de la lentille 126 et se trouve à une distance  $d$  du foyer 128 de la lentille 126. Le faisceau divergent issu du foyer 128 tombe sur la face d'entrée 133 de cette lame dans l'alignement du réseau de diodes 122 (fig.7). L'inclinaison de la lame est telle que chacun des rayons du faisceau divergent 135 issu du foyer 128 frappe la lame sous un angle différent. Parmi ces rayons, pratiquement un seul possède une incidence  $\varphi'$  sur la face 133 de la lame correspondant à l'information angulaire contenue dans le spectre de fréquence de la lumière composant le faisceau 135 et, en conséquence, susceptible de traverser la lame 120. Il frappe une des diodes du réseau 122 dont la position par rapport à l'origine 137 de ce réseau (cette origine se trouvant à la distance  $d$  du foyer 128 perpendiculairement à la lame 120) permet de déterminer la valeur de l'angle  $\varphi'$  correspondant, selon la formule  $x = d \operatorname{tg} \varphi'$  où  $x$  est l'abscisse de la diode excitée dans le réseau 122 par rapport à l'origine 137. Le repérage électronique de la diode excitée dans le réseau 135 permet de suivre en permanence les variations de l'orientation du transmetteur.

Selon un perfectionnement, un codeur optique 140 (figure 8) est associé à un corps 142 et comporte, outre une lame de filtre interférentiel 144 et un trièdre rétroreflecteur 146, une lame de polariseur 148 disposée devant le filtre interférentiel et orienté, de préférence, perpendiculairement à l'axe optique du trièdre.

En variante, la lame de polariseur 148 est accolée avec la lame interférentielle 144.

Le système optique formé par les lames 144 et 148 et le trièdre 146 reçoit un faisceau incident de lumière polychromatique non polarisée en provenance d'un émetteur 160 à

travers une lame semi-transparente 162 et renvoie un faisceau de lumière polarisée à spectre de fréquence codé sur la lame semi-transparente 162. Ce faisceau est transmis par l'intermédiaire d'un miroir de renvoi 164 à un système de décodage 5 166 comportant une lame d'analyseur 168 sur le trajet du faisceau résultant 170, montée à rotation autour d'un axe parallèle à celui du faisceau 170 (parallèle au plan de la figure ) et dont la position angulaire est repérable sur une échelle circulaire 172. Le faisceau issu de l'analyseur 168 10 est ensuite reçu sur une lame de filtre interférentiel 174 orientable, semblable à la lame 98 de la figure 5, suivie d'une lentille convergente 178 et d'un détecteur d'énergie lumineuse 176 pour déterminer l'angle du faisceau incident 15 issu du projecteur 160 avec l'axe 150, comme expliqué précédemment. La rotation de l'analyseur 168, permet de déterminer l'orientation du plan de polarisation du faisceau renvoyé par le transmetteur 140 par rapport à un axe de référence dans le plan de rotation de l'analyseur 168.

Ainsi, pour déterminer à distance un paramètre de position angulaire, ou d'attitude, d'un corps éloigné, on vise, 20 à partir d'un lieu de mesure, le codeur optique fixé au corps pour lui envoyer un faisceau de lumière blanche et on analyse le faisceau lumineux renvoyé par ce capteur pour déterminer un angle d'attitude. Lorsqu'on effectue cette analyse à 25 l'aide d'une lame de filtre interférentiel orientable telle que 104 sur la figure 5, la position angulaire de cette lame par rapport à un repère qui correspond au décodage du spectre de fréquence reçu dépend seulement de la position de l'axe 76 par rapport à ce repère et non de la direction de la ligne 30 de visée par rapport à l'axe 76. D'une façon générale, le dispositif décrit est insensible aux déplacements du corps qui ne modifient pas sa position angulaire.

Lorsqu'on effectue la poursuite d'un corps mobile, tel qu'un objet volant, par exemple, dont on cherche à déterminer 35 un paramètre d'attitude et dont la position angulaire peut varier rapidement dans des proportions importantes, il est prévu d'asservir l'orientation de la lame de filtre interférentiel du détecteur associé au récepteur à la valeur de

l'angle mesuré, de façon à suivre les déplacements angulaires du corps poursuivi. Cet asservissement peut être effectué en continu au fur et à mesure de la mesure de l'angle caractéristique recherché, ou par incréments, chaque fois que la variation de cet angle dépasse un seuil prédéterminé. A cet effet, le filtre interférentiel de décodage disposé à la station de réception et son dispositif d'orientation peuvent être fixés sur une monture orientable entraînée par un moteur asservi à un signal représentatif de la valeur de l'angle décodé par le filtre. Dans ce cas, la valeur de l'angle caractéristique d'attitude recherchée est représentée par la somme du déplacement angulaire du filtre par rapport à son dispositif d'orientation (rotation de la lame 98 autour de l'axe 104 par exemple) et du déplacement angulaire de la monture par rapport à un repère.

Bien entendu, il est possible d'appliquer la technique de mesure qui vient d'être décrite à la détermination de deux ou de trois angles caractéristiques de la position angulaire d'un corps à surveiller à l'aide de deux ou trois transmetteurs à rétrorélecteurs respectivement orientés sur ledit corps dans des directions différentes.

Pour déterminer l'attitude d'un objet, c'est-à-dire les trois coordonnées angulaires, on dispose sur l'objet au moins un codeur optique à rétrorélecteur comportant l'association d'une lame de filtre interférentiel et d'une lame de polariseur décrite en référence à la figure 8 et un autre codeur à lame de filtre interférentiel orientée de telle manière que les deux filtres interférentiels ne soient pas parallèles entre eux. Par exemple, on dispose sur l'objet deux codeurs optiques comportant un trièdre rétrorélecteur dont le champ angulaire est de  $\pm 30^\circ$  et on oriente, d'une part, les trièdres pour que leurs axes optiques soient parallèles et, d'autre part, les lames à filtre interférentiel pour qu'elles fassent entre elles un angle voisin de  $132^\circ$  et soient inclinées d'environ  $55^\circ$  sur l'axe des trièdres.

Sous ces diverses formes, l'invention trouve une application dans de nombreuses mesures d'angle à distance, et notamment pour la détermination d'un ou de plusieurs angles "d'attitude" d'un mobile en vol. L'attitude d'un mobile par

rapport à un repère de référence fixe peut être définie par trois angles, dont deux permettent de repérer la direction d'un axe lié audit mobile (axe longitudinal), le troisième angle caractéristique de l'attitude du mobile étant alors son angle de rotation autour de cet axe.

La technique décrite s'applique à des objets libres totalement ou en partie par rapport au système de référence auquel on cherche à rapporter leurs mouvements, comme par exemple des maquettes d'aéronefs essayées en souffleries aérodynamiques et dont on veut mesurer et/ou asservir la position angulaire. Elle n'est pas sensible à la variation de distance entre cet objet et la station d'observation dans la mesure où la lumière issue du codeur peut être détectée.

Bien entendu, d'autres moyens de détection de l'angle caractéristique codé dans le spectre de fréquence du faisceau résultant sont envisageables. Ainsi, il est également prévu d'utiliser comme détecteur la combinaison d'un filtre interférentiel identique à celui du codeur et d'un capteur du niveau d'énergie lumineuse en sortie de ce filtre avec des moyens pour entraîner ce filtre en faisant varier périodiquement l'incidence de rayons lumineux issus du faisceau résultant sur le deuxième filtre interférentiel. Un système de détection de phase réalisé à l'aide de moyens électroniques de type connu peut être connecté en sortie du capteur sensible à l'énergie lumineuse pour détecter des variations de phase du signal d'extremum émis par ce dernier, consécutives à une variation de la position angulaire du mobile équipé du codeur selon l'invention. Cette variante de réalisation trouve, par exemple, des applications à l'étude du mouvement de pièces soumises à des vibrations mécaniques. On dispose alors, sur la pièce, au moins un codeur optique conforme à l'invention et on mesure à distance les variations de phase des signaux d'extremum pour en déduire l'amplitude et la direction du mouvement vibratoire.

1. Codeur optique pour la détermination à distance d'au moins un angle caractéristique de la position angulaire ou "attitude" d'un corps (70), agencé pour recevoir un faisceau de lumière polychromatique sous une incidence fonction de l'attitude du corps, caractérisé en ce qu'il est constitué par un dispositif optique (72) solidaire du corps et comprenant un filtre interférentiel (74) qui produit un faisceau résultant de lumière dont le spectre de fréquence est caractéristique de ladite incidence.

2. Codeur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif optique comprend également des moyens (75) propres à renvoyer le faisceau résultant en sens inverse dudit faisceau incident.

3. Codeur optique selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de renvoi comportent un trièdre rétrorélecteur (75).

4. Codeur optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le filtre interférentiel est une lame à faces parallèles (74) transparente aux longueurs d'ondes de la lumière composant le faisceau résultant.

5. Codeur optique selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le filtre interférentiel est une lame (74) réfléchissant les longueurs d'ondes de la lumière composant le faisceau résultant.

6. Codeur optique selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite lame est une couche mince de matière transparente (63) disposée sur une face d'un trièdre rétrorélecteur (55).

7. Codeur optique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le dispositif optique comporte en outre un polariseur de lumière (148) disposé devant le filtre interférentiel.

8. Procédé de mesure à distance d'au moins un angle caractéristique de la position angulaire ou "attitude" d'un corps, dans lequel on envoie un faisceau de lumière polychromatique sur un système optique solidaire du corps sous une

incidence fonction de l'attitude de ce corps, caractérisé en ce qu'on envoie le faisceau de lumière sur un filtre interférentiel (74) qui produit un faisceau lumineux résultant dont le spectre de fréquence est caractéristique de ladite incidence, on capte ce faisceau résultant et on analyse son spectre de fréquence pour déterminer ledit angle caractéristique.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la lumière du faisceau incident est blanche.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que le faisceau résultant est transmis par le codeur optique (72) en sens inverse du faisceau incident sensiblement dans la même direction.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que, pour analyser le spectre de fréquence du faisceau résultant capté, on fait tomber les rayons issus de ce faisceau sur un second filtre interférentiel (98) et l'on oriente le filtre interférentiel pour détecter l'angle d'incidence des rayons correspondant à un extremum d'énergie lumineuse en sortie dudit filtre.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, caractérisé en ce qu'on capte et on analyse le faisceau résultant issu d'un deuxième codeur optique à filtre interférentiel disposé sur ce corps et dont l'axe a une orientation différente de celui du premier codeur à filtre interférentiel afin de mesurer un deuxième angle caractéristique de la position dudit corps.

13. Appareillage de mesure à distance d'un angle caractéristique de la position angulaire ou attitude d'un corps, comportant un émetteur de lumière (88) propre à envoyer un faisceau de lumière polychromatique, sous une incidence fonction de l'attitude de ce corps, sur un système optique, cet appareillage étant caractérisé en ce qu'il comporte un codeur optique solidaire du corps et comprenant un filtre interférentiel (74) propre à produire à la sortie de ce système un faisceau résultant de lumière dont le spectre de fréquence est fonction de ladite incidence, et un récepteur (96) du faisceau résultant comprenant un détecteur (98, 102)

sensible au spectre de fréquence de la lumière composant ce faisceau pour déterminer ledit angle caractéristique.

14. Appareillage selon la revendication 13, caracté-  
risé en ce que l'émetteur est propre à émettre une lumière  
5 blanche.

15. Appareillage selon l'une quelconque des revendica-  
tions 13 ou 14, caractérisé en ce que le codeur optique com-  
porte des moyens pour renvoyer sur le récepteur le faisceau  
résultant dans la même direction que le faisceau incident et  
10 en sens inverse.

16. Appareillage selon l'une quelconque des revendica-  
tions 13 à 15, caractérisé en ce que le détecteur comporte un  
deuxième filtre interférentiel (98) et des moyens (102) sen-  
sibles au niveau d'énergie lumineuse à la sortie de ce  
15 deuxième filtre.

17. Appareillage selon la revendication 16, caracté-  
risé en ce que le détecteur comprend des moyens (104) pour  
faire varier l'incidence de rayons issus du faisceau résult-  
tant par rapport au filtre interférentiel et des moyens (110)  
20 pour repérer l'incidence correspondant à un extremum du  
niveau d'énergie lumineuse détecté à la sortie dudit deuxième  
filtre.

18. Appareillage selon la revendication 16, caracté-  
risé en ce que le détecteur comporte des moyens d'entraîne-  
25 ment pour faire varier périodiquement l'incidence de rayons  
de lumière issus du faisceau résultant sur le deuxième filtre  
interférentiel et des moyens sensibles à la phase d'un signal  
représentatif du niveau d'énergie lumineuse en sortie du  
filtre.

30 19. Appareillage selon la revendication 16, caracté-  
risé en ce qu'il comporte des moyens pour produire un fais-  
ceau de rayons non parallèles à partir du faisceau de rayons  
parallèles (135) résultant et le diriger sur le deuxième  
filtre interférentiel (120) et en ce que les moyens sensibles  
35 au niveau d'énergie comprennent un réseau de détecteurs (122)  
agencés à la sortie de ce filtre selon une disposition telle  
que chacun de ces détecteurs ne puisse recevoir que des

rayons transmis par le filtre qui correspondent à une incidence respective déterminée de rayons de ce faisceau non parallèles, de sorte que la position d'un détecteur excité dans ce réseau fournisse une mesure de l'incidence des rayons qui ont traversé le filtre.

5  
20. Appareillage selon l'une quelconque des revendications 16 à 19, caractérisé en ce que le deuxième filtre interférentiel est solidaire d'une monture mobile en rotation et dont l'orientation est asservie à la mesure dudit angle  
10 caractéristique.

21. Appareillage selon l'une quelconque des revendications 13 à 20, caractérisé en ce que le codeur comporte un polariseur de lumière et le récepteur comprend, en outre, un analyseur (168) de lumière polarisée orientable propre à  
15 détecter la direction du plan de polarisation du faisceau résultant imposé par le polariseur (148).

22. Appareillage selon l'une quelconque des revendications 13 à 21, caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins un deuxième détecteur de spectre de fréquence en provenance d'un deuxième faisceau résultant issu d'un deuxième  
20 codeur optique à filtre interférentiel orienté sur ledit corps dans une direction différente de celle dudit premier codeur optique.





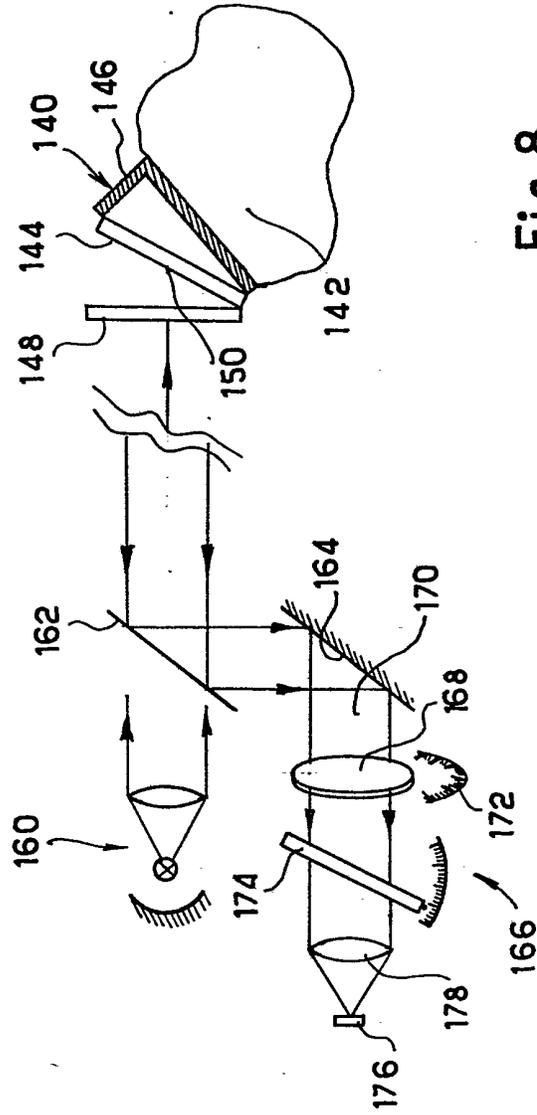


Fig. 8