

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 21 août 1985.

③0 Priorité : DE, 28 août 1984, n° P 34 31616.7.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 10 du 7 mars 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : MESSERSCHMITT-BOL-
KOW-BLOHM GESELLSCHAFT MIT BESCHRANKTER
HAFTUNG. — DE.

⑦2 Inventeur(s) : Bernd Kunkel.

⑦3 Titulaire(s) :

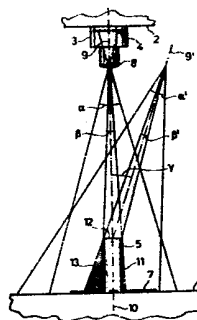
⑦4 Mandataire(s) : Bureau D. A. Casalonga, Office Josse et
Petit.

⑤4 Dispositif de mesure pour déterminer la position relative de deux corps.

⑤7 Dispositif de mesure pour déterminer, par rapport à une
position de référence prédéfinie, la position relative de deux
corps se trouvant à distance l'un de l'autre et comportant
respectivement une caméra et un élément d'obscurcissement.

Dans le plan d'image de la caméra 3 est placée une matrice
en nappe 4 d'éléments photosensibles lisibles et le système de
référence est formé par des sources lumineuses ponctuelles
réparties en ligne ou en nappe à l'extérieur de la base de
l'élément d'obscurcissement 5.

Ce dispositif de mesure sert en particulier à l'amarrage de
deux engins spatiaux.



DISPOSITIF DE MESURE POUR DETERMINER LA POSITION RELATIVE
DE DEUX CORPS.

L'invention se rapporte à un dispositif de mesure pour déterminer, par rapport à une position de référence prédéfinie, la position relative de deux corps se trouvant à distance l'un de l'autre, comprenant une caméra embarquée sur l'un des corps, un élément d'obscurcissement embarqué sur l'autre corps et faisant saillie sur la surface de ce dernier, ainsi qu'un système de référence optiquement distinctement reconnaissable, placé dans la zone de la base de l'élément d'obscurcissement et partiellement recouvert de façon dissymétrique par l'ombre de celui-ci en cas d'écart de par rapport à la position de référence.

Les dispositifs de mesure qui servent à déterminer la position relative de deux corps par rapport à une position de référence prédéfinie sont nécessaires dans différents domaines de la technique. Ainsi, par exemple, les robots doivent être à même d'approcher d'un corps suivant une orientation prédéfinie bien déterminée des pièces à monter sur ce corps ou à ajuster dans des ouvertures de celui-ci. Ce problème de positionnement joue également un rôle en technique sous-marine, par exemple en cas de manoeuvre automatique ou téléguidée de petits sous-marins sans pilote. En astronautique, il peut aussi se poser le problème d'avoir à rapprocher les uns des autres des engins spatiaux ou des satellites pilotés ou non et de les accoupler au moyen de dispositifs d'amarrage prévus à cet effet. Dans ce cas également, il y a lieu de veiller à ce que, avant l'accostage, l'engin spatial actif se rapprochant conserve exactement la position de référence prévue relativement à l'engin spatial passif. Pour ce faire, il faut, en particulier pour le fonctionnement automatique, que les écarts par rapport à la position de référence puissent être rapidement et exactement mesurés afin que les corrections

d'orientation nécessaires puissent être effectuées en temps voulu.

Par le brevet américain 3 910 533, on connaît un dispositif permettant d'assembler l'un à l'autre deux engins spatiaux. A cet effet, sur l'engin spatial actif, on installe
5 au centre du dispositif d'amarrage une caméra de télévision qui prend le dispositif d'amarrage de l'engin spatial passif dans son champ visuel pendant l'accostage de l'engin spatial actif. Le processus d'accostage des deux engins spatiaux
10 serait idéal si les deux axes de symétrie des dispositifs d'amarrage coïncidaient en permanence. Cela n'est cependant pas garanti a priori dans la plupart des cas. Pour pouvoir déceler les écarts par rapport à cette position de référence, au centre du dispositif d'amarrage de l'engin spatial passif, on
15 prévoit un élément d'obscurcissement qui fait saillie de sa surface et qui, lorsque les deux engins spatiaux se trouvent dans la position de référence prédéterminée et vu de la caméra de l'engin spatial actif, recouvre alors intégralement de son ombre un système de référence placé dans la zone de
20 sa base. Cette position de référence correspond à l'orientation réciproque nécessaire à l'amarrage des engins spatiaux dans laquelle les deux axes de symétrie coïncident en position et en direction tandis qu'est amenée une position angulaire relative prédéterminée par rapport à ces axes de
25 symétrie. L'élément d'obscurcissement est un cadre carré monté sur des supports et à la base duquel se trouve, en tant que système de référence, une bande de forme également carrée comportant des raies transversales distinctement visibles. Vu d'un point donné de l'axe de symétrie du dispositif d'amarrage de l'engin spatial passif, cette bande
30 carrée est optiquement recouverte ou cachée par le cadre placé devant. Si l'engin spatial actif avec sa caméra s'approche par contre à partir d'une position latérale, la bande carrée servant de système de référence n'est plus que
35 partiellement recouverte. L'image projetée par la caméra

parvient sur un moniteur où elle peut être observée par le pilote de l'engin spatial actif. Celui-ci est alors en mesure d'effectuer les manoeuvres de correction nécessaires pour ramener l'engin spatial actif à la position de référence. La direction dans laquelle ces manoeuvres doivent être exécutées résulte du déplacement perspectif réciproque, visible sur le moniteur, du cadre et du système de référence. Le résultat de ces manoeuvres peut être suivi à tout instant sur le moniteur.

10 Le dispositif décrit dans le brevet américain 3 910 533 est limité du fait que les manoeuvres de correction en direction de la position de référence désirée sont exécutées par un pilote commandant l'engin spatial actif. Un accostage exécuté automatiquement n'est pas possible avec ce
15 dispositif. Par ailleurs, le dispositif donne, certes, un aperçu visuel de la grandeur et de la direction de la dérive de l'engin spatial actif par rapport à la position de référence, mais il ne s'agit en aucune façon d'un dispositif de mesure à proprement parler. Une mesure exacte de la dérive
20 n'est pas envisagée et n'est pas non plus nécessaire en raison de la présence d'un pilote ou d'un astronaute. Ce dispositif ne convient donc pas à des véhicules spatiaux sans pilote et exige de la part du pilote une grande expérience et une concentration de tous les instants.

25 A l'inverse, l'invention a pour objet de mettre au point un dispositif de mesure du type précité qui permette de mesurer automatiquement le plus exactement possible, par rapport à une position de référence, la position relative de deux corps, en particulier de deux engins spatiaux, se
30 trouvant à distance l'un de l'autre, de manière que les corrections de position nécessaires puissent être effectuées sûrement et automatiquement sur la base des résultats obtenus par les mesures. Cet objet est particulièrement important pour la mesure des basculements des deux axes de
35 symétrie l'un par rapport à l'autre, car jusqu'ici il n'était

pas possible de mesurer de tels basculements avec la précision nécessaire et sans mettre en oeuvre des moyens considérables.

Ce résultat est atteint selon l'invention par le fait que dans le plan d'image de la caméra est placée une matrice en nappe d'éléments photosensibles lisibles et que le système de référence est formé par des sources lumineuses les plus ponctuelles possible, réparties en ligne ou en nappe à l'extérieur de la base de l'élément d'obscurcissement. Comme caméra, à la place d'une caméra de télévision reliée à un moniteur, on utilise, par exemple, une caméra CCD (à dispositifs à transfert de charge) ou une caméra CID (à dispositif à injection de charge), dans le plan d'image de laquelle se trouve un réseau CCD ou CID. A l'inverse des caméras de télévision, les caméras de ce type présentent une association des coordonnées du plan d'image distinctement fixable. Par ailleurs, le système de référence selon l'invention est formé par une disposition en ligne ou en nappe de sources lumineuses, les plus ponctuelles possible, de préférence des diodes luminescentes, qui sont placées à l'extérieur de la base de l'élément d'obscurcissement. En cas d'un décalage latéral ou basculement de l'axe de symétrie d'un corps par rapport à l'axe de symétrie de l'autre corps, une partie des sources lumineuses est ainsi recouverte par l'ombre de l'élément d'obscurcissement dans l'image du système de référence projeté dans le plan d'image de la caméra. Selon la forme de l'élément d'obscurcissement qui peut être avantageusement cylindrique circulaire ou cubique et selon la disposition spéciale des sources lumineuses, on obtient un modèle d'ombre qui est caractéristique du type de l'écart par rapport à la position de référence et à partir duquel on peut déterminer sur la base de relations purement géométriques les grandeurs de la dérive, comme l'angle de basculement ou le décalage des axes de symétrie, éventuellement par comparaison avec une image mémorisée qui correspond à la position

de référence exacte. Le dispositif de mesure est d'autant plus précis que les sources lumineuses sont placées plus près les unes des autres, qu'elles sont plus ponctuelles et que les éléments photosensibles lisibles de la matrice de la
5 caméra sont plus petits et plus proches les uns des autres.

On réalise un dispositif de mesure particulièrement simple en utilisant comme système de référence des rangées de diodes luminescentes de même longueur disposées en croix. Dans ce cas, l'élément d'obscurcissement est avanta-
10 geusement réalisé en forme de cylindre circulaire. Lors d'un basculement des axes de symétrie l'un par rapport à l'autre, une ou deux des quatre demi-rangées à partir de la base sont alors partiellement recouvertes et ce d'autant plus que l'angle de basculement est plus grand. Par le degré
15 de recouvrement de ces rangées de diodes luminescentes partiellement ombragées, on peut déterminer à coup sur l'importance et la direction du basculement relatif. A l'aide d'une telle rangée de diodes luminescentes en forme de croix, on peut aussi déterminer une rotation pure autour
20 des axes de symétrie.

En plus d'une disposition en croix des rangées de diodes luminescentes, d'autres dispositions rayonnées ou radiales de ces rangées de diodes luminescentes sont aussi possibles. Des sources lumineuses réparties en nappe et
25 étroitement serrées les unes contre les autres peuvent également servir de système de référence, par exemple des diodes luminescentes réparties de préférence régulièrement à l'intérieur d'une surface circulaire. Ici aussi, on peut déterminer la grandeur de la dérive à partir de la direction
30 et de l'importance de la partie ombragée. Dans la pratique, on préfère cependant les rangées de diodes luminescentes dans la mesure où elles sont disposées de manière qu'une dérive, en particulier un basculement, engendre une ombre correspondante plus clairement interprétable du fait qu'une
35 disposition linéaire se caractérise naturellement par rapport

à une disposition en nappe par un traitement considérablement plus simple des signaux.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description d'un mode de réalisation pris comme exemple,
5 mais non limitatif, et illustré par le dessin annexé, sur lequel :

la figure 1 représente schématiquement en vue latérale un élément d'obscureissement cylindrique avec
10 croix de diodes lumineuses dans le trajet des rayons d'un objectif de caméra dans deux positions différentes ;

la figure 2 représente une vue en plan de l'élément d'obscureissement cylindrique avec la croix de diodes lumineuses.

La figure 1 représente en vue latérale un élément
15 d'obscureissement cylindrique 5 qui est installé sur la surface d'un corps 1, par exemple d'un satellite passif. Symétriquement tout autour de la base de l'élément d'obscureissement cylindrique 5 sont placées quatre rangées 7 de diodes lumineuses 6 (LED) qui sont disposées entre elles
20 avec un écart angulaire de 90° et qui forment ainsi ensemble une croix de diodes lumineuses (voir aussi figure 2). Au-dessus de l'élément d'obscureissement 5, on a représenté un corps 2 en passe d'accoster le corps 1, par exemple un second satellite actif qui se rapproche du satellite passif
25 et qui est équipé d'une caméra 3 dont le champ visuel embrasse l'élément d'obscureissement 5 et son entourage sur la surface du corps 1. Dans le plan d'image de l'objectif 8 de cette caméra 3 se trouve une matrice en nappe 4 d'éléments photosensibles lisibles. En ce qui concerne ces
30 derniers, il peut s'agir de capteurs CCD ou CID (CCD = dispositifs à transfert de charge, CID = dispositifs à injection de charge). La caméra 3 est donc une caméra du type à corps solide dont les éléments capteurs peuvent être lus directement par voie électronique, c'est-à-dire sans l'aide
35 d'un faisceau d'électrons passant dans un vide. L'objectif 8

de la caméra 3 dispose avantageusement d'une focale variable qui, à l'approche de l'objet à observer, ici la surface du corps 1, comportant l'élément d'obscurcissement 5, est réglée automatiquement, par exemple sur la base de mesures télé-

5 métriques simultanées.

Sur la figure 1 est représentée une position relative des deux corps 1 et 2 l'un par rapport à l'autre dans laquelle l'axe de symétrie 9 de l'objectif 8 de la caméra 3 coïncide avec l'axe de symétrie 10 de l'élément

10 d'obscurcissement 5. Dans le plan d'image de l'objectif 8, il se forme ainsi une image absolument symétrique de l'élément d'obscurcissement 5 ainsi que des rangées de diodes lumineuses 7. La figure 1 représente aussi bien l'angle de visée α de l'objectif 8 à la distance représentée des deux

15 corps 1 et 2 l'un de l'autre que l'angle de visualisation β sous lequel l'élément d'obscurcissement cylindrique 5 apparaît vu de la caméra 3. On obtient donc une zone d'ombre circulaire 11, c'est-à-dire une zone qui est située autour de la base de l'élément d'obscurcissement cylindrique 5 et

20 qui est couverte par ce dernier vu de la caméra 3. Cela n'affecte cependant pas la symétrie en ce qui concerne le nombre de diodes lumineuses 6 que l'on peut encore voir dans les quatre rangées de diodes 7 à partir de la caméra 3. La zone circulaire 11 augmente, certes, à mesure que se

25 rapproche la caméra 3, mais dans chaque rangée 7 de diodes lumineuses un même nombre de diodes 6 est recouvert. Dans ce cas représenté, le corps 2 se rapprochant se trouve déjà dans la position idéale prévue pour un éventuel accouplement. Par l'accroissement du degré de recouvrement des rangées 7

30 de diodes lumineuses résultant de l'agrandissement de la zone d'ombre 11, on peut déduire aussi bien la distance que la vitesse d'approche du corps 2 par rapport au corps 1. A cet effet, on peut également utiliser l'augmentation de la longueur, allant en croissant dans le plan d'image de

35 l'objectif 8, des rangées 7 de diodes lumineuses non encore

ombragées, notamment en choisissant deux diodes de référence fixes dont on suit l'augmentation de la distance de l'image.

Par ailleurs, sur la figure 1 on a représenté une deuxième position du corps 2 qui est schématisée par un axe de symétrie 9' incliné de la caméra 3 et dans laquelle cet axe de symétrie 9' est basculé d'un angle γ par rapport à l'axe de symétrie 10 de l'élément d'obscurcissement 5. La surface supérieure 12 du corps d'obscurcissement cylindrique 5 apparaît maintenant sous un angle de visualisation β' légèrement rapetissé et en particulier on obtient une zone d'ombre dissymétrique 13 par rapport à l'axe de symétrie 10, si bien que, vue à partir de cette nouvelle position de la caméra, la rangée 7' de diodes lumineuses représentée à gauche de la figure 2 semble recouverte pour une grande partie par l'ombre de l'élément d'obscurcissement 5. Par le nombre des diodes lumineuses recouvertes 6, on peut déduire à coup sûr l'angle de basculement γ dans la mesure où on connaît en même temps la distance entre la caméra 3 et l'élément d'obscurcissement 5. Celle-ci à son tour peut être déterminée par la longueur de l'image des rangées 7 de diodes lumineuses non recouvertes, en particulier des deux rangées orientées perpendiculairement à la rangée 7'. La détermination de l'angle de basculement γ s'effectue alors sur la base de relations trigonométriques généralement connues.

Dans la deuxième position de la caméra représentée à la figure 1 (axe de symétrie 9'), les décalages latéraux sont déjà corrigés de sorte que, lors de la correction de position ultérieure, seul l'angle de basculement γ reste encore à ramener à zéro. A la figure 2, sur la surface supérieure 12 de l'élément d'obscurcissement 5 on a encore représenté trois autres diodes lumineuses 14 qui peuvent être utilisées comme système de référence en cas de rapprochement à partir d'assez grandes distances et qui doivent donc être en conséquence d'une grande luminosité. Ces diodes lumi-

nescentes 14 peuvent néanmoins être aussi utilisées au choix dans des domaines de distances plus rapprochées pour définir les décalages latéraux ou rotations (déviations de l'angle de roulis) du corps 2 se rapprochant par rapport à la position de référence idéale. En principe, cependant, au moins les rotations peuvent être déterminées par les seules rangées 7 de diodes lumineuses disposées en croix, l'une des rangées devant être repérée spécialement par exemple par suppression de diodes lumineuses individuelles 6, par codage en couleur ou par fréquence d'impulsions. Pour ici bien signaler les diodes lumineuses utilisées en tant que sources lumineuses et les détacher de l'entourage immédiat, on peut avantageusement noircir l'élément d'obscurcissement cylindrique 5 ainsi que sa base et la surface du corps 1 entourant les rangées 7 de diodes lumineuses afin qu'aucune réflexion lumineuse parasite ne puisse se produire.

Avec la disposition choisie du système de référence avec diodes lumineuses placées en croix, par comparaison avec une image de référence mémorisée de ce système de référence, on peut déterminer la déviation de l'angle de roulis, c'est-à-dire la rotation du corps 2 se rapprochant tournant autour de l'axe de symétrie de la caméra 3 relativement à une position zéro donnée, le décalage latéral ainsi que l'angle de basculement. Par ailleurs, on peut déterminer la distance relative, par exemple à l'aide d'une échelle de distance mémorisée comportant des images du système de mesure mémorisées de différentes grandeurs en fonction de la distance, de même que la vitesse relative, et ce, à l'aide des variations de distances relevées.

On effectue la lecture des matrices CCD ou CID par des méthodes connues, on peut numériser les informations extraites, les interpréter sous cette forme de façon usuelle et effectuer les opérations de calcul nécessaires. Par un choix judicieux des paramètres, tels que la grandeur et la forme de l'élément d'obscurcissement, la longueur et la

disposition des rangées de diodes luminescentes ainsi que la distance réciproque des différentes diodes, la distance focale de la caméra et le nombre ainsi que la densité des éléments capteurs CCD ou CID placés en tant que matrice
5 dans le plan d'image de la caméra, on peut obtenir avec un dispositif de mesure selon l'invention des définitions angulaires d'un ordre de grandeur de $0,05^\circ$ ainsi que des définitions de moins de 1 mm en ce qui concerne le décalage latéral pour une distance caméra-élément d'obscurcissement de
10 quelques mètres. Ces valeurs de résolution peuvent encore être améliorées en utilisant des procédés d'interpolation appropriés.

Il peut être avantageux de faire fonctionner les diodes luminescentes en régime impulsionnel pour permettre
15 de mieux les distinguer sur un fond clair. Pour pouvoir mieux déterminer les rotations par rapport à l'axe de symétrie, il est avantageux, notamment dans le cas de diodes luminescentes disposées en croix, de diviser au moins l'une des rangées de diodes en segments et de pouvoir les
20 mettre séparément hors circuit. La netteté dans la détermination de la position relative peut aussi être garantie en faisant fonctionner une ou plusieurs rangées de diodes luminescentes suivant différents codes de fréquence:

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de mesure pour déterminer, par rapport à une position de référence prédéfinie, la position relative de deux corps se trouvant à distance l'un de l'autre, comprenant une caméra embarquée sur l'un des corps, un élément
5 d'obscurcissement embarqué sur l'autre corps et faisant saillie sur la surface de ce dernier, ainsi qu'un système de référence optiquement distinctement reconnaissable, placé dans la zone de la base de l'élément d'obscurcissement et partiellement recouvert de façon dissymétrique par l'ombre de
10 celui-ci en cas d'écart par rapport à la position de référence, caractérisé par le fait que dans le plan d'image de la caméra (3) est placée une matrice en nappe (4) d'éléments photosensibles lisibles et que le système de référence est formé par des sources lumineuses (6) les plus ponctuelles
15 possible réparties en ligne ou en nappe à l'extérieur de la base de l'élément d'obscurcissement (5).
2. Dispositif de mesure selon la revendication 1, caractérisé par le fait que, comme système de référence on utilise des rangées de sources lumineuses de même longueur
20 disposées en croix.
3. Dispositif de mesure selon la revendication 1, caractérisé par le fait que, comme système de référence, on utilise des sources lumineuses réparties à l'intérieur d'une surface circulaire.
- 25 4. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les sources lumineuses (6) sont des diodes lumineuses.
5. Dispositif de mesure selon la revendication 2 ou 4, caractérisé par le fait qu'au moins l'une des rangées de
30 sources lumineuses est divisée en segments et qu'au moins l'un des segments peut être mis hors circuit.
6. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les sources lumineuses peuvent être utilisées en régime impulsif.

