RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 517 052**
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21) **N° 81 21992**

(54) **Procédé et appareillage permettant la détermination optique de la position tridimensionnelle des points de la surface d'un objet quelconque par suréclairage d'un ensemble de ces points.**

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 B 11/03, 11/24 // G 06 K 9/00.

(22) Date de dépôt..... 24 novembre 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 21 du 27-5-1983.

(71) Déposant : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, établissement déclaré d'utilité publique. — FR.

(72) Invention de : Jean-Jacques Borrelly.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Harlé et Phélip,
21, rue de La Rochefoucauld, 75009 Paris.

L'invention concerne le domaine de la détermination de la position spatiale d'un point. Elle est applicable notamment à la détermination de la surface d'un corps. Plus particulièrement, l'invention est relative à un procédé et à un appareillage optique permettant la détermination des trois coordonnées, exprimées dans un repère d'axes spécifique, de l'ensemble des points de la surface d'un corps. Ce repère sera appelé par la suite repère de base. On appellera point objet un point quelconque de la surface du corps.

La détermination de la forme tridimensionnelle d'un corps repose généralement sur des méthodes de stéréoscopie, c'est-à-dire qu'on réalise deux prises de vue (appelées images par la suite) du même objet sous des angles différents. Les emplacements des systèmes de prise de vue ainsi que leurs caractéristiques étant connus, la détermination de la forme tridimensionnelle des objets repose sur des relations géométriques simples à condition qu'on puisse apparier les différents points (appelés points image par la suite) de chacune des deux images comme étant les points image correspondant à un même point objet.

A l'intérieur de chacune des deux images (supposées planes), chaque point image sera représenté par deux coordonnées exprimées dans un repère lié à l'image à laquelle il appartient. La connaissance de ces coordonnées pour chaque paire de points image et celle du positionnement des systèmes de prise de vue permettent de déterminer les coordonnées de chaque point objet exprimées dans le repère de base.

Pour résoudre la difficulté de la recherche de la correspondance entre deux points image de chacune des deux images, on a déjà proposé de rechercher un maximum de corrélation entre des plages de forme voisine sur chacune des images. Cette procédure exploitée dans un calculateur utilise des informations de position des points image et d'intensité lumineuse représentées dans un système numérique et s'avère être complexe à mettre en oeuvre. D'autre part les temps de détermination de la géométrie sont très longs.

On a également proposé pour résoudre cette difficul-

té d'éclairer ou de suréclairer une zone quasi ponctuelle des objets dont on veut déterminer la forme. Les points image correspondant au même point objet unique suréclairé sont alors aisément repérables sur chacune des images. La détermination complète de la géométrie d'un corps suppose alors qu'on suréclaire successivement tous les points (ou au moins un sous-ensemble représentatif) de sa surface.

A titre de documents récents illustrant la technique antérieure dans le domaine de la présente invention, on peut citer les brevets français ci-après :

- 75.21.295 (2.277.326)
- 75.08.739 (2.304.892)
- 76.13.512 (2.310.550)
- 74.00.766 (2.327.513)
- 76.26.546 (2.363.779)
- 78.13.179 (2.425.055)
- 78.30.112 (2.439.979)

L'invention a pour but d'éliminer les inconvénients de l'art antérieur, liés à la recherche de correspondance entre les points images correspondant au même point objet.

Sous sa forme la plus générale, l'invention concerne un procédé pour la détermination de la position spatiale des points de la surface d'un corps, procédé dans lequel on suréclaire la surface du corps, on forme des images dans au moins deux systèmes distincts de prises de vues, on traite les informations caractéristiques des images correspondant à un même point objet eton détermine la position spatiale de celui-ci, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'on suréclaire successivement des ensembles de points à l'aide d'une source lumineuse ponctuelle placée sur la droite joignant les centres optiques des objectifs des systèmes de prises de vues, lesdits ensembles étant répartis sur une courbe de la surface du corps, chaque point de ladite courbe appartenant à un plan différent, passant par les centres optiques, en ce qu'on établit une correspondance entre les points de chacune des deux images en les appariant deux à deux et en recherchant, pour chaque point image de l'une des deux images, le point image de l'autre image qui vérifie la relation existant entre les deux couples de coordonnées associés à chacun des points image correspondant au même point objet, et en ce qu'on traite les informations

recueillies sur lesdites images pour mesurer les positions de chaque couple des points image, ce qui permet de déterminer les coordonnées tridimensionnelles du point objet correspondant,l'ensemble de ces déterminations permettant d'établir la forme de la surface du corps.

L'invention tire parti du fait qu'il existe nécessairement une relation entre les deux couples de coordonnées associés à chacun des points image correspondant au même point objet quel qu'il soit.L'utilisation de cette relation permet d'apparier deux à deux les éléments d'ensembles de points image sur chacune des deux images.La procédure consiste alors, pour chaque point image de l'une quelconque des deux images, à rechercher le point image suréclairé qui vérifie cette relation sur l'autre image. Ceci permet de suréclairer un ensemble,continu ou non,de points objets sous certaines conditions.

Partant d'un point image de l'une quelconque des deux images, la procédure de recherche de son point homologue dans l'autre image peut aboutir à trois conclusions :

- on ne détecte aucun point vérifiant la relation : dans ce cas, on ne peut pas déterminer les coordonnées du point objet.

- on détecte un seul point vérifiant la relation : il est alors possible d'appliquer les relations géométriques de détermination des coordonnées au point objet.

- on détecte plusieurs points image vérifiant la relation : il y a dans ce cas indétermination. Ce problème doit être résolu dans un système de suréclairage particulier non nécessairement quasi ponctuel.

Dans tous les cas,le procédé de l'invention permet de réaliser sans ambiguité et quelle que soit la forme du corps la correspondance entre deux points suréclairés de chacune des deux images.

Selon une forme avantageuse de réalisation, le faisceau d'éclairage est plan.

Dans une variante, on éclaire successivement les ensembles de points à une cadence supérieure à la cadence d'analyse des systèmes de prise de vue, ce qui fournit des ensembles de points images.

L'invention concerne également un appareillage stéréoscopique pour la détermination tridimensionnelle de la forme d'un corps, pour la mise en oeuvre du procédé, caractérisé en ce qu'il comprend un générateur de faisceau lumineux, des moyens pour déplacer ce faisceau, un dispositif à deux prises de vue du corps, des moyens pour faire correspondre des informations numériques aux positions des différents points éclairés sur chacune des deux images, des moyens de calculateur pour faire correspondre deux à deux les différents points éclairés de chacune des deux images et des moyens permettant de calculer les coordonnées tridimensionnelles des différents points suréclairés du corps.

L'appareillage selon l'invention pour la mise en oeuvre du procédé comprend au minimum deux dispositifs de prise de vue(ou caméras), un système de génération d'éclairage spécifique non nécessairement quasi ponctuel et permettant de lever le cas d'indétermination précédemment mentionné et un calculateur numérique et/ou analogique, permettant à la fois de déterminer les correspondances entre deux points image de chacune des deux images et de déterminer les coordonnées tridimensionnelles des différents points objet correspondant aux couples de points image obtenus lors de la phase précédente.

Selon un mode de réalisation basé sur un positionnement particulier des systèmes de prise de vue, l'analyse de la correspondance entre les points image ne nécessite pas de calculateur. Dans ce cas, la détermination des coordonnées des points objet peut être réalisée par un processeur numérique entièrement combinatoire.

L'invention peut également présenter les caractéristiques ci-après considérées isolément ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles :

- le dispositif de prise de vue comprend une surface sensible unique pour les deux prises de vue,
- le dispositif de prise de vues comprend deux caméras du type dissecteur d'images,
- les deux caméras sont identiques et les axes optiques des objectifs sont parallèles,

- on utilise le système de balayage propre des caméras pour apparier les points éclairés de chacune des images,

- le faisceau d'éclairage est immobile et on détermine la forme de corps se déplacant devant l'appareil, par exemple sur une bande transporteuse.

L'invention sera maintenant illustrée, sans être aucunement limitée, par la description ci-après faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

Fig. 1 est un schéma de principe illustrant le procédé de l'invention.

Fig. 2 est un schéma relatif à une variante pour la recherche des points image homologues.

Fig. 3 représente une variante du dispositif de suréclairage.

Fig. 4 est une vue relative à un autre mode de fonctionnement.

Fig. 5 est un diagramme fonctionnel d'une réalisation de l'appareillage selon l'invention.

On se référera tout d'abord au schéma de principe de la figure 1.

Pour la détermination de la forme d'un corps C, on suréclaire un ensemble Z des points de sa surface. On désignera par z un point objet appartenant à l'ensemble Z des points objets suréclairés.

Le corps C ainsi suréclairé est observé à l'aide d'un premier dispositif de prise de vue 10_1 et d'un second dispositif de prise de vue 10_2.

Chaque dispositif de prise de vue 10_1(10_2) comprend un objectif 11_1 (11_2), dont le centre optique est noté O_1 (O_2) et dont l'axe optique est noté a_1 (a_2) et une surface photosensible 12_1 (12_2) supposée plane. On appellera d_1 (d_2) la distance du centre optique de l'objectif O_1 (O_2) au point c_1 (c_2) intersection de l'axe optique a_1 (a_2) avec la surface photosensible 12_1 (12_2).

Le dispositif de prise de vue 10_1 fournit par

son objectif 11_1 sur sa surface photosensible 12_1, une image Y_1 de l'ensemble Z des points objets suréclairés. On notera y_1 un point image appartenant à Y_1.

Le dispositif de prise de vue 10_2 fournit par son objectif 11_2 sur sa surface photosensible 12_2 une image Y_2 de l'ensemble Z des points objets suréclairés. On notera y_2 un point image appartenant à Y_2.

La correspondance entre un point image y_1 et un point image y_2 est établie comme suit :

A un point image y_1 quelconque de Y_1 on peut associer un plan Py_1 défini par les points y_1, O_1, O_2. Le point objet z correspondant au point image y_1 sera situé dans ce plan Py_1. De même, le point image y_2 correspondant au point objet z sera situé dans le plan Py_1.

D'autre part, le point image y_2 appartient au plan de la couche photosensible 12_2. On peut donc affirmer que le point image y_2 appartient à la droite Δy_2 intersection du plan Py_1 (y_1, O_1, O_2) et de la couche photosensible 12_2. Le point image y_2 homologue de y_1 sera donc le point d'intersection de la droite Δy_2 avec l'ensemble des points image Y_2.

Afin d'éviter le cas d'indétermination dans le calcul des coordonnées du point objet z, l'intersection de la droite Δy_2 avec l'ensemble Y_2 des points image doit être unique. Ceci se traduit par la condition de n'avoir dans le plan Py_1 qu'un seul point objet z suréclairé, et ceci quel que soit le point image y_1 considéré et quelle que soit la forme du corps C.

Cette conditionpeut être réalisée en utilisant un système de suréclairage particulier.

Le système de suréclairage devra être constitué d'une source lumineuse ponctuelle S qu'on assimilera à un faisceau de droites issues du point S. Cette source S devra être placée sur la droite O_1, O_2 joignant les centres optiques des objectifs 11_1 et 11_2.

De plus, le système d'éclairage devra être tel

que quelque soit un plan P passant par la droite O_1O_2, l'intersection du plan P avec le faisceau de droites issues de S soit une droite unique.

On pourra par exemple utiliser un système d'éclairage par un plan lumineux tel que représenté sur les figures 1 et 2.

Il est également possible d'utiliser un système d'éclairage constitué d'un ensemble fini de pinceaux lumineux L (lasers) comme indiqué sur la figure 3.

Les conditions sur le système d'éclairage étant supposées vérifiées, il est possible en utilisant la procédure précédente d'apparier sans ambiguité chaque point image y_1 de Y_1 avec un point image y_2 de Y_2.

La connaissance des coordonnées de chaque couple (y_1, y_2) sur les surfaces photosensibles 12_1 et 12_2, ainsi que celle des positions de centres optiques O_1, O_2 et des orientations des axes optiques a_1, a_2 permet par des considérations géométriques connues ou à la portée de l'homme de l'art de déterminer les coordonnées du point objet z correspondant au couple (y_1 , y_2). Cette détermination s'effectue le plus rapidement et le plus commodément dans un calculateur.

Dans la forme de réalisation montrée sur la figure 2, on détermine à partir d'un plan P quelconque passant par la droite O_1, O_2, joignant les centres optiques des objectifs, deux droites Δy_1 et Δy_2 définies comme étant les intersections du plan P avec les plans des surfaces photosensibles 12_1 et 12_2. On remarquera que l'ensemble des droites Δy_1 (Δy_2) passent par le point p_1 (p_2) intersection de la droite O_1,O_2 joignant les centres optiques des objectifs avec les plans respectifs de la surface photosensible 12_1 (12_2).

Les conditions d'éclairage étant supposées vérifiées, on n'aura qu'un seul point objet z suréclairé dans le plan P. Les intersections de Y_1 (Y_2) avec les droites Δy_1 (Δy_2), seront donc des points image uniques qu'on

appellera y_1 (y_2). Connaissant les coordonnées de y_1 et y_2 dans chacune des deux images, il est possible de déterminer les coordonnées, dans le repère de base, du point objet unique z suréclairé appartenant au plan P.

Dans la forme de réalisation montrée figure 4, les deux dispositifs de prise de vue sont identiques et leurs axes optiques a_1 et a_2 sont parallèles. Dans cette forme de réalisation, les droites Δy_1 et Δy_2 sont confondues. De plus, les relations géométriques permettant de déterminer les coordonnées du point objet z ne sont basées que sur les quatre opérations arithmétiques élémentaires (addition - soustraction - multiplication -division), autorisant ainsi l'utilisation d'un processeur cablé entièrement combinatoire.

La détermination complète de la forme du corps C est réalisée en déplaçant le système d'éclairage, permettant ainsi de suréclairer successivement différents ensembles Z de points objet.

Dans l'appareillage montré figure 5, un faisceau d'éclairage 32 est fourni par un générateur 31. Sur le schéma, ce faisceau est représenté par un plan lumineux. Un moyen 33 permet de déplacer le faisceau 34 qui éclairera une zone Z non ponctuelle du corps C. Ce moyen peut être un miroir pivotant. Les faisceaux images 35_1 et 35_2 sont renvoyés de la zone Z du corps C et pénétrent dans les objectifs de deux caméras électroniques 41_1 et 41_2. Ces caméras peuvent être soit du type vidicon soit du type dissecteur d'image.

Chaque caméra comporte un dispositif de balayage 42_1 (42_2) permettant d'explorer la couche photosensible. Dans le cas de caméras du type dissecteur d'image, les dispositifs de balayage sont pilotés par le dispositif 52 du calculateur 50 qui provoquera un balayage suivant les droites Δy_1, Δy_2.

Les sorties 43_1 et 43_2 des caméras sont reliées à des dispositifs 44_1 et 44_2 permettant de mesurer les coordonnées des points y_1 de Y_1 et y_2 de Y_2 suréclairés.

Les sorties 45_1 et 45_2 de ces dispositifs sont reliées à l'entrée du calculateur 50 qui comprend un système 51 de calcul des coordonnées des points objet z de Z, un dispositif 53 de stockage des informations éventuellement sous forme condensée et un dispositif 55 agissant sur le moyen 33 de déplacement du faisceau 34.

Pour la mise en oeuvre du procédé illustré à la figure 4, les caméras sont de type vidicon , le balayage utilisé est systématique et le calcul des coordonnées de chaque point z est réalisé par un processeur cablé numérique rapide (au lieu ducalculateur 51).

L'invention prévoit une installation dans laquelle le faisceau 34 est immobile et réalisé par un plan lumineux. L'appareillage permet alors de reconstituer la géométrie de la coupe du corps C par ce plan. Dans ce mode de fonctionnement, il est possible de reconstituer entièrement la géométrie de corps se déplaçant sous le dispositif, par exemple dans le cas d'objets se déplaçant sur une bande transporteuse.

En variante l'invention est également applicable à la détermination de la forme de corps immobiles, de grande surface, auquel cas l'appareillage peut être déplacé dans un certain nombre de positions de prises de vue.

D'autre part, on peut utiliser d'une manière avantageuse des caméras dont les surfaces de réception sont constituées par des réseaux matriciels de photodiodes ou d'éléments photosensibles à transfert de charge. De tels moyens permettent de fournir des images géométriques très fidèles avec cependant un pouvoir de résolution un peu inférieur à celui des appareils connus à tubes.

L'invention trouve particulièrement application pour des mesures faites à des distances en général inférieures à 10 mètres.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour la détermination de la position spatiale des points (z) de la surface d'un corps (C), procédé dans lequel on suréclaire la surface du corps (C), on forme des images dans au moins deux systèmes distincts de prises de vues, on traite les informations caractéristiques des images correspondant à un même point objet (z) et on détermine la position spatiale de celui-ci, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'on suréclaire successivement des ensembles (Z) de points(z) à l'aide d'une source lumineuse (S) ponctuelle placée sur la droite (O_1, O_2) joignant les centres optiques des objectifs (ll_1, ll_2) des systèmes de prises de vues (ll_1, $l2_1$, ll_2, $l2_2$), lesdits ensembles (Z) étant répartis sur une courbe de la surface du corps (C), chaque point de ladite courbe appartenant à un plan différent, passant par les centres optiques (O_1, O_2), en ce qu'on établit une correspondance entre les points (y_1, y_2) de chacune des deux images en les appariant deux à deux et en recherchant, pour chaque point (y_1) image de l'une des deux images, le point image (y_2) de l'autre image qui vérifie la relation existant entre les deux couples de coordonnées associés à chacun des points image correspondant au même point objet (z) et en ce qu'on traite les informations recueillies sur lesdites images pour mesurer les positions de chaque couple de points image, ce qui permet de déterminer les coordonnées tridimensionnelles du point objet (z) correspondant, l'ensemble de ces déterminations permettant d'établir la forme de la surface du corps (C).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le faisceau d'éclairage est plan .

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on éclaire successivement les ensembles (Z) de points à une cadence supérieure à la cadence d'analyse des systèmes (ll_1, $l2_1$, ll_2, $l2_2$) de prise de vue, ce qui fournit des ensembles de points images (y_1, y_2).

4. Procédé selon l'une quelconque des revendica-

tions 1 à 3, caractérisé en ce que le point image (y_2) homologue du point image (y_1) est le point d'intersection d'une droite (Δy_2) avec l'ensemble des points images (Y_2), la droite (Δy_2) étant l'intersection du plan (Py_1) défini par le point (y_1) et les centres optiques (O_1, O_2) des deux systèmes de prises de vues, et de la couche photosensible (12_2) réputée plane du système de prise de vues correspondant au point image (y_2).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'intersection d'un plan (P) quelconque passant par la droite (O_1, O_2) avec le faisceau de droites, matérialisant les rayons lumineux issus de la source (S), est une droite unique.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on utilise un système d'éclairage (S) fournissant un ensemble fini de pinceaux lumineux (L), par exemple des rayons lasers .

7. Appareillage pour la détermination tridimensionnelle de la forme d'un corps pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend un générateur (31) de faisceau lumineux, des moyens (33, 55, 56) pour déplacer ce faisceau, un dispositif (41_1, 41_2) à deux prises de vue du corps, des moyens (44_1, 44_2) pour faire correspondre des informations numériques aux positions des différents points éclairés sur chacune des deux images, des moyens (50) de calculateur pour faire correspondre deux à deux les différents points éclairés de chacune des deux images et des moyens (51) permettant de calculer les coordonnées tridimensionnelles des différents points suréclairés du corps.

8. Appareillage selon la revendication 7, caractérisé en ce que le dispositif de prise de vue comprend une surface sensible unique pour les deux prises de vue.

9. Appareillage selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce qu'il comprend deux caméras du type vidicon, du type dissecteur d'images, du type à réseaux

matriciels de photodiodes ou du type avec éléments photosensibles à transfert de charge.

10. Appareillage selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, caractérisé en ce que les deux caméras sont identiques et les axes optiques des objectifs sont parallèles.

11. Appareillage selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, caractérisé en ce qu'on utilise le système de balayage propre des caméras pour apparier les points éclairés de chacune des images.

12. Appareillage selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce qu'il comprend, au lieu d'un calculateur pour la détermination de la forme du corps, un processeur numérique entièrement combinatoire.

13. Application de l'appareillage selon l'une quelconque des revendications 7 à 12, dans laquelle, le faisceau d'éclairage étant immobile, on détermine la forme de corps se déplaçant devant l'appareillage, par exemple sur une bande transporteuse.

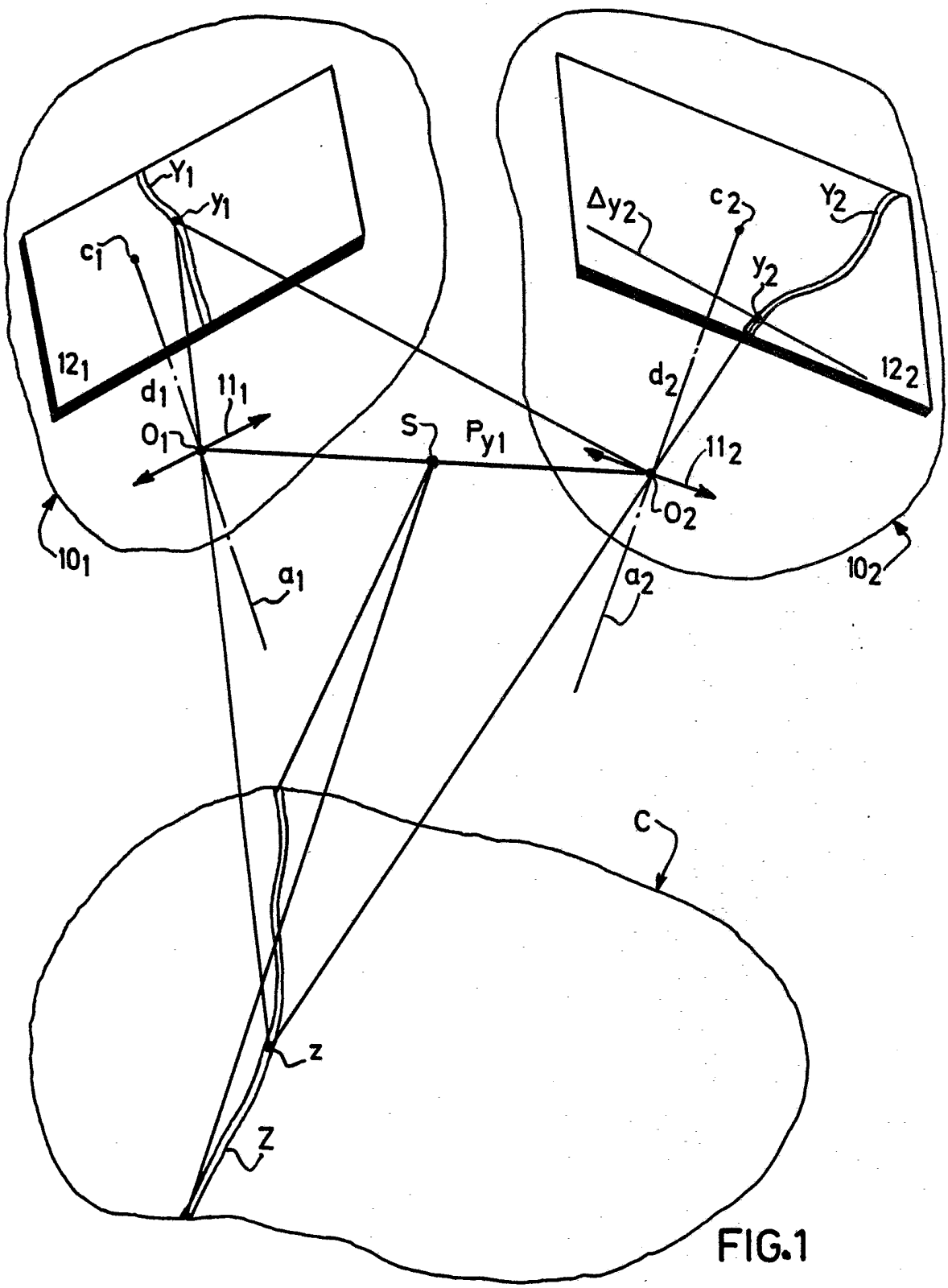
Y1
y1
c1
12 1
d1
11 1
O1
S
Py1
Δy2
c2
Y2
y2
d2
12 2
11 2
O2
10 1
10 2
a1
a2
C
z
Z

FIG.1

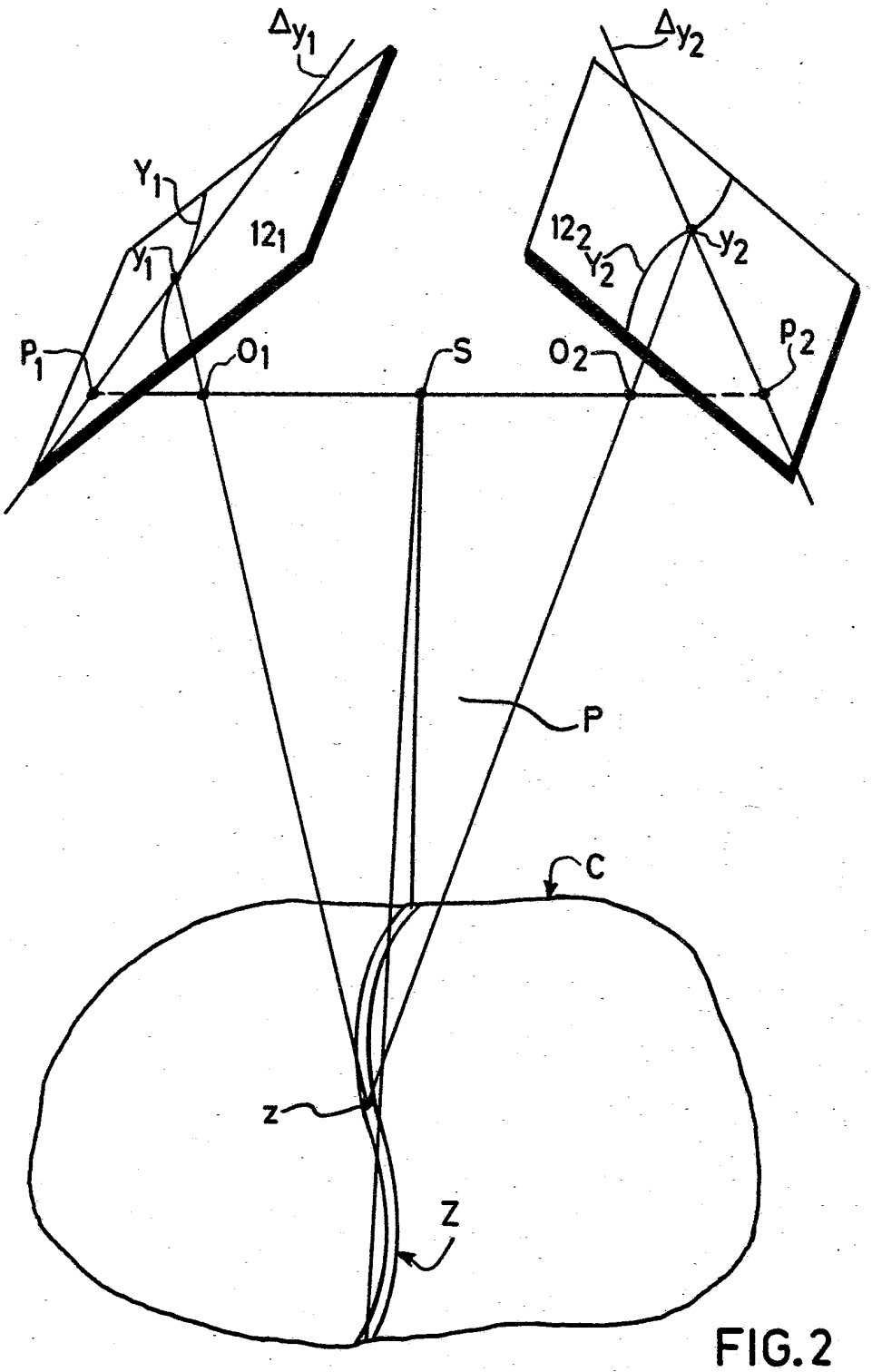

FIG.2

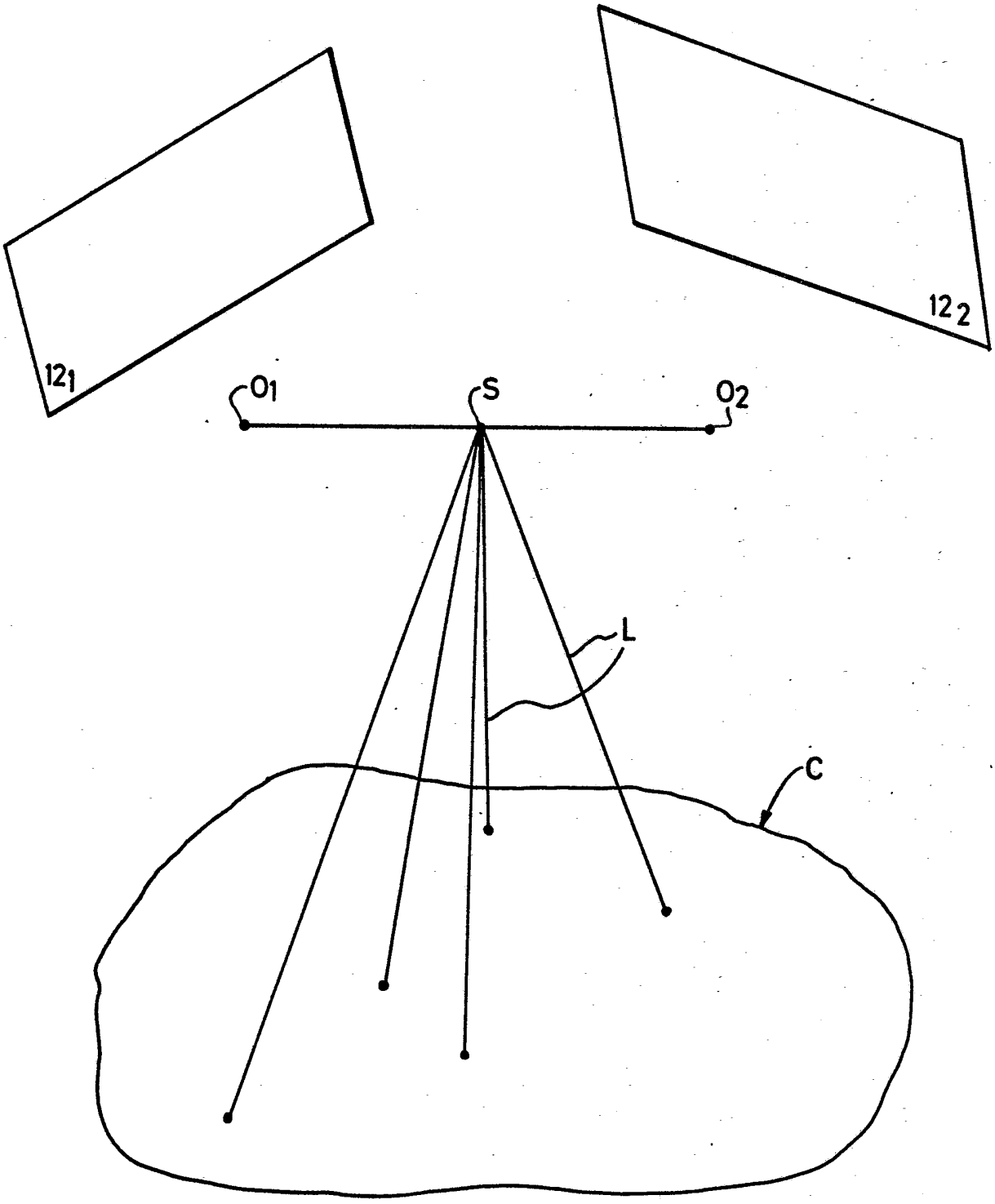

FIG. 3

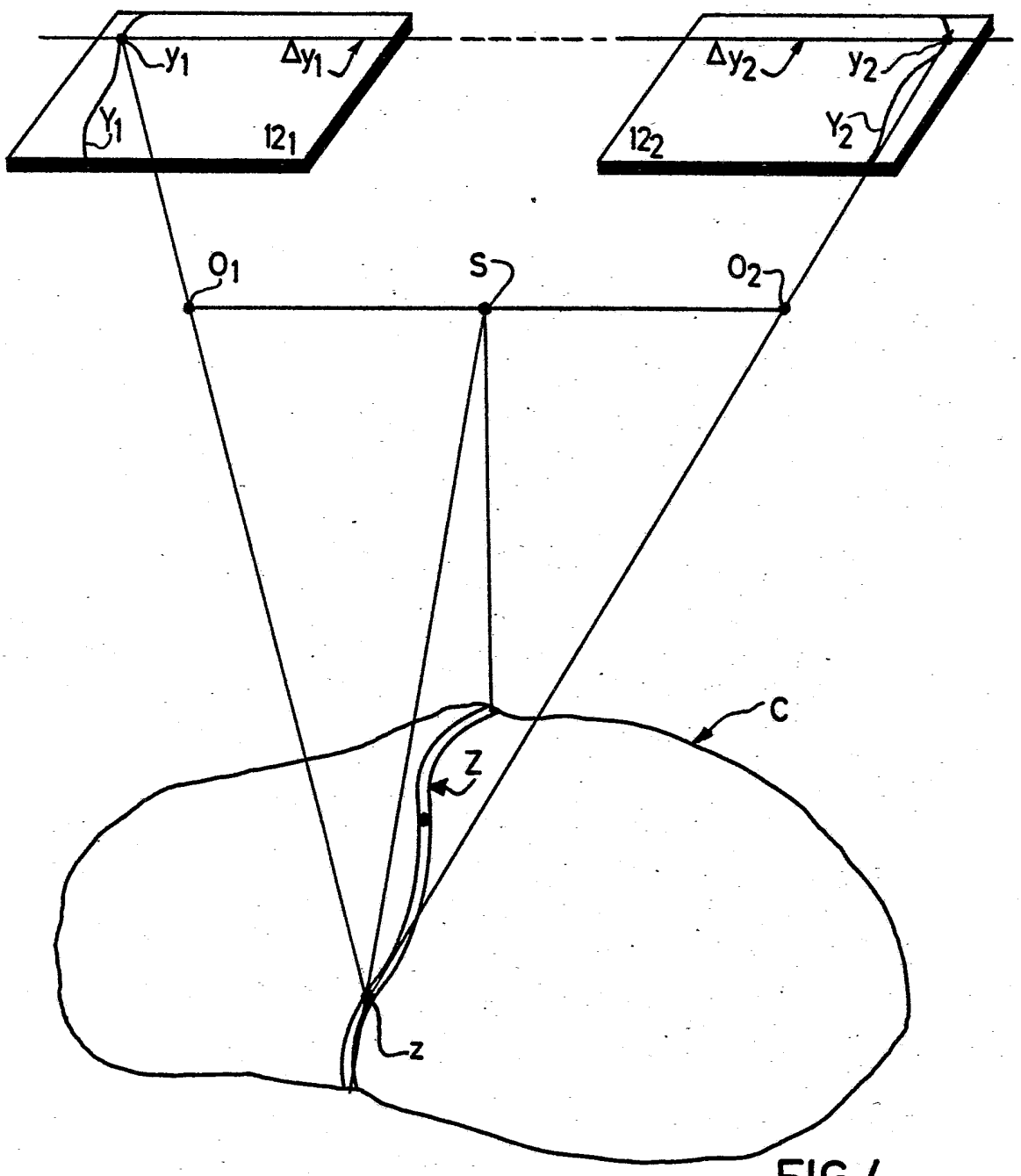

FIG.4

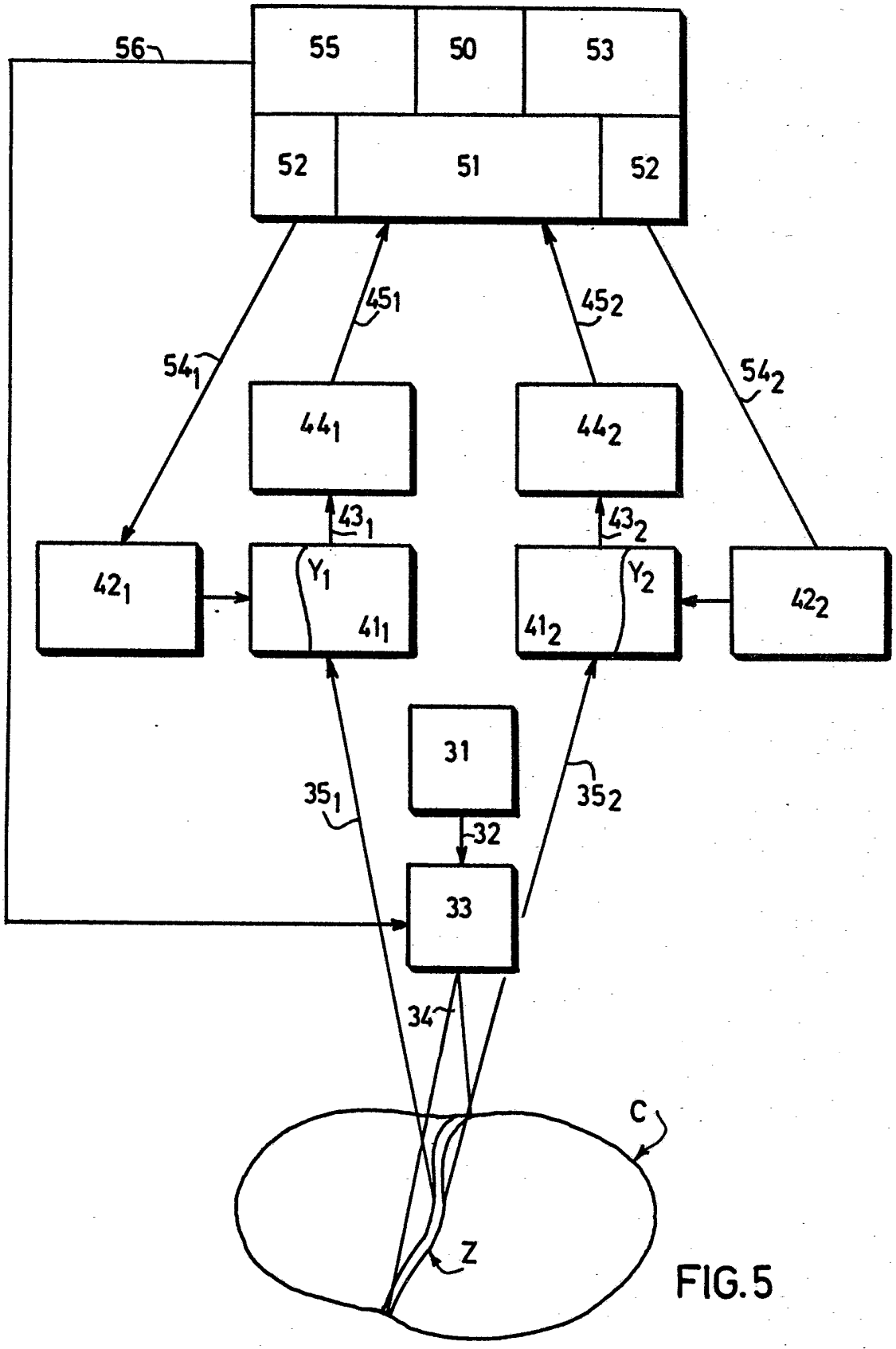
56
55
50
53
52
51
52
45_1
45_2
54_1
54_2
44_1
44_2
43_1
43_2
42_1
Y_1
41_1
41_2
Y_2
42_2
31
35_1
35_2
32
33
34
C
Z

FIG.5