

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2021/105263 A1

(43) Date de la publication internationale
03 juin 2021 (03.06.2021)

(51) Classification internationale des brevets :

G05D 1/06 (2006.01) G01S 3/28 (2006.01)
G01S 1/14 (2006.01) G01S 7/03 (2006.01)
G01S 13/91 (2006.01) G01S 13/48 (2006.01)
G01S 1/04 (2006.01) G01S 13/87 (2006.01)
G01S 1/68 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2020/083465

(22) Date de dépôt international :

26 novembre 2020 (26.11.2020)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR1913300 27 novembre 2019 (27.11.2019) FR

(71) Déposant : THALES [FR/FR] ; Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade Nord, 92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeurs : MAZEAU, Thierry ; c/o Thales DMS Campus Thales Bordeaux, 75-77 avenue Marcel Dassault, 33700 Mérignac (FR). CASTAING, Charline ; c/o Thales DMS Campus Thales Bordeaux, 75-77 avenue Marcel Dassault, 33700 Mérignac (FR). GARREC, Patrick ; c/o Thales DMS 25 avenue Gustave Eiffel, 33608 Pessac Cedex (FR).

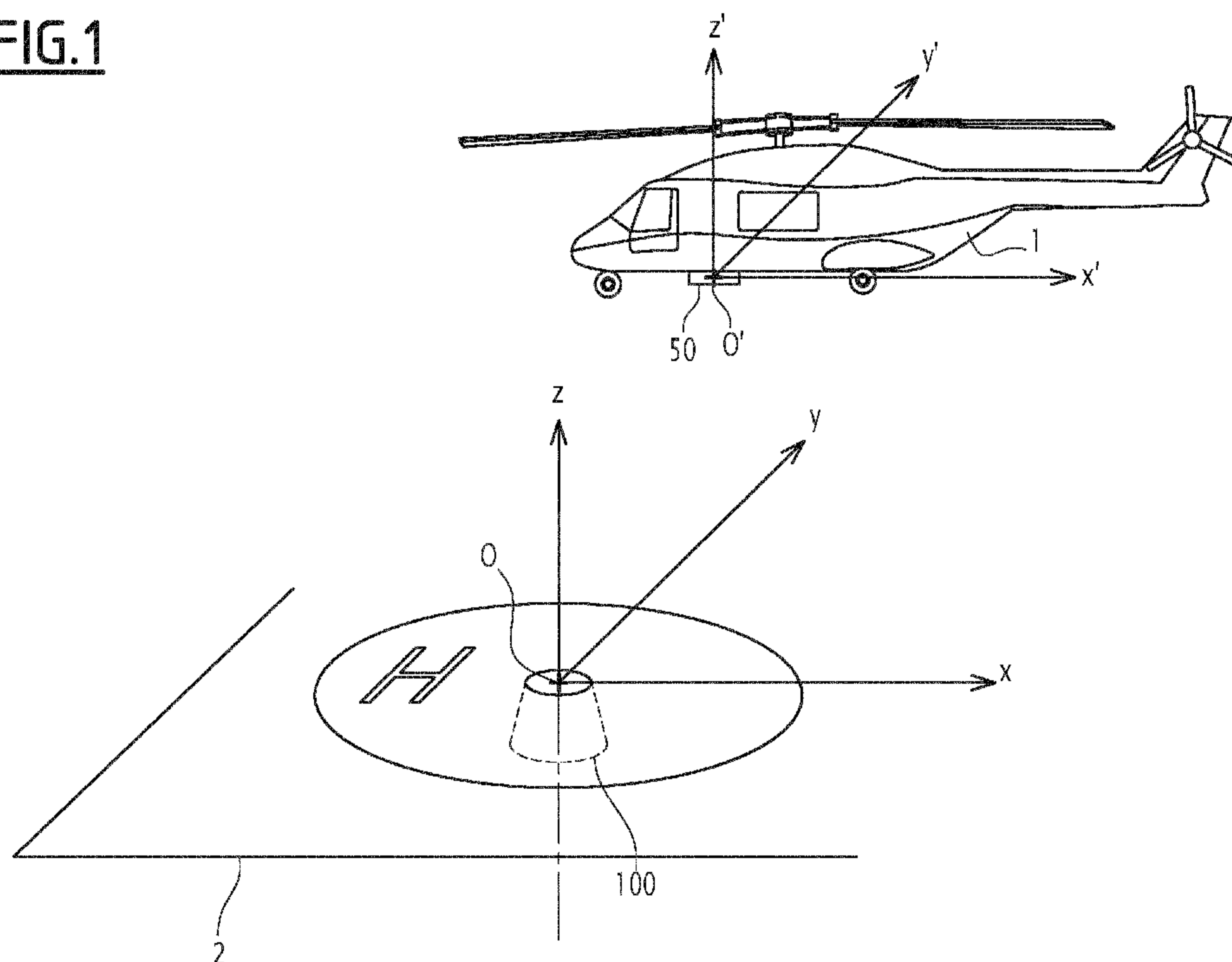
(74) Mandataire : HABASQUE, Etienne et al. ; Lavoix, 2, Place d'Estienne d'Orves, 75441 Paris Cedex 09 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,

(54) Title: GUIDANCE SYSTEM FOR LEADING AN AIRCRAFT TO A REFERENCE POINT; ASSOCIATED GUIDANCE METHOD

(54) Titre : ENSEMBLE DE GUIDAGE POUR AMENER UN AÉRONEF VERS UN POINT DE RÉFÉRENCE; PROCÉDÉ DE GUIDAGE ASSOCIÉ

FIG.1



(57) Abstract: The invention relates to a guidance system for leading an aircraft (1) to a reference point (O), characterised in that it comprises: an active beacon (100) capable of emitting a first electromagnetic signal in a first emission cone, defined by an apex coinciding with the reference point, a first beam angle and a first axis corresponding to an emission direction (Z); and a multi-beam radar (50), installed on board the aircraft (1), operating in reception mode and capable of performing deviation measurements on a signal received from the active beacon (100), the multi-beam radar (50) comprising an antenna suitable for receiving in at least two spatially separate reception cones.

(57) Abrégé : Ensemble de guidage pour amener un aéronef (1) vers un point de référence (O), caractérisé en ce qu'il comporte : une

[Suite sur la page suivante]

WO 2021/105263 A1

EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

balise active (100) propre à émettre un premier signal électromagnétique selon un premier cône d'émission, définit par un sommet coïncidant avec le point de référence, un premier angle d'ouverture et un premier axe correspondant à une direction d'émission (Z); et un radar multifaisceaux (50), embarqué à bord de l'aéronef (1), fonctionnant en réception et propre à réaliser des mesures d'écartométrie sur un signal reçu depuis la balise active (100), le radar multifaisceaux (50) comportant une antenne adaptée pour une réception selon au moins deux cônes de réception spatialement séparés.

**Ensemble de guidage pour amener un aéronef vers un point de référence ;
procédé de guidage associé**

5

L'invention a pour domaine celui des dispositifs et des procédés de guidage d'un aéronef vers un point de référence.

10

On souhaiterait disposer de moyens permettant de guider un aéronef jusqu'à un point de référence afin de s'en approcher au plus près, c'est-à-dire avec une précision de guidage de l'ordre de la dizaine de centimètres, de préférence de l'ordre de la dizaine de millimètres.

15

Une telle précision est par exemple requise pour l'atterrissage sur le pont d'un navire d'un hélicoptère de taille réduite, en particulier un hélicoptère autonome de type drone.

20

On connaît des systèmes de radionavigation, par exemple pour la navigation maritime, qui mettent en œuvre une pluralité de bouées émettrices, dont les positions géographiques sont connues. Un récepteur, embarqué à bord d'un navire, détermine alors, à partir des signaux reçus, la distance qui le sépare de chaque bouée et, par triangulation, détermine la localisation absolue du navire.

Une variante de ces systèmes consiste à déterminer la localisation du navire par la mesure d'une différence de phase entre les signaux synchronisés émis par différentes bouées.

25

Cependant, la précision de ces systèmes, qui est ajustée aux besoins de la navigation maritime, n'est que de l'ordre du mètre.

30

On connaît également les systèmes ILS (pour « Instrument Landing System » en anglais), qui sont constitués de balises positionnées sur une piste pour fournir une information relative à la direction d'atterrissage de l'aéronef par rapport à la piste. Un tel système guide un aéronef au moment de l'atterrissage pour qu'il atterrisse le long de l'axe de la piste, avec une incidence maîtrisée. Un tel système n'est pas adapté pour amener un aéronef sur un point de référence avec une précision élevée.

35

Une alternative aux systèmes ILS est présentée dans les documents FR 2 894 347 et FR 2 878 336. Un dispositif de détection et de localisation, au sol, exploite une onde émise par un émetteur embarqué à bord de l'aéronef, pour

effectuer une localisation de l'aéronef destinée à améliorer la précision de la mesure de position angulaire de l'aéronef par rapport à la piste.

Le but de la présente invention est par conséquent de répondre à ce besoin en proposant notamment une alternative aux systèmes connus.

5 Pour cela l'invention a pour objet un ensemble de guidage pour amener un aéronef vers un point de référence, caractérisé en ce qu'il comporte : une balise active propre à émettre un premier signal électromagnétique selon un premier cône d'émission, défini par un sommet coïncidant avec le point de référence, un premier angle d'ouverture et un premier axe correspondant à une direction
10 d'émission ; et un radar multifaisceaux, embarqué à bord de l'aéronef, fonctionnant en réception et propre à réaliser des mesures d'écartométrie sur un signal reçu depuis la balise active, le radar multifaisceaux comportant une antenne adaptée pour une réception selon au moins deux cônes de réception spatialement séparés.

L'invention met avantageusement à profit le principe de l'écartométrie, qui
15 est par ailleurs connu dans le domaine radar pour le suivi de cible.

Suivant des modes particuliers de réalisation l'ensemble de guidage comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- la balise active est propre à émettre, en outre, au moins un second signal
20 électromagnétique selon un second cône d'émission, le sommet du second cône d'émission coïncidant avec le point de référence, l'axe du second cône d'émission coïncidant avec la direction d'émission, et un second angle d'ouverture, le second angle d'ouverture étant strictement supérieur au premier angle d'ouverture premier cône d'émission, le second signal et le premier signal étant séparables l'un de
25 l'autre selon une propriété prédéfinie, le radar multifaisceaux étant propre à séparer, dans le signal reçu de la balise active, une contribution du premier signal et une contribution du second signal et à réaliser des mesures d'écartométrie à partir de la contribution du premier signal et/ou de la contribution du second signal.

- la propriété prédéfinie étant une fréquence, la balise active est propre à émettre
30 le premier signal selon une première fréquence caractéristique et le second signal selon une seconde fréquence caractéristique, la seconde fréquence étant différente de la première.

- le radar multifaisceaux présente une configuration dite parallèle dans laquelle les
35 axes des cônes de réception sont parallèles entre eux ou une configuration dite divergente dans laquelle les axes des cônes de réception divergent à partir d'un centre de l'antenne du radar.

- l'antenne du radar multifaisceaux comporte quatre antennes élémentaires, chaque antenne élémentaire étant associée à un cône de réception.

L'invention a également pour objet un procédé de guidage pour amener un aéronef vers un point de référence, en utilisant un ensemble de guidage conforme à l'ensemble de guidage précédent, consistant, dans une phase d'atterrissage, à rapprocher l'aéronef du point de référence le long de la direction d'émission de la balise active, en contrôlant une position de l'aéronef dans un plan perpendiculaire à la direction d'émission en fonction de mesures d'écartométrie réalisées périodiquement par le radar multifaisceaux à partir du signal électromagnétique reçu de la balise active.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le procédé de guidage comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes combinaisons techniquement possibles :

- lorsque, dans la phase d'atterrissage, la distance entre l'aéronef et le point de référence est inférieure à une altitude limite caractéristique du premier cône d'émission de la balise active et que les mesures d'écartométrie ne peuvent plus être réalisées à partir du premier signal électromagnétique émis par la balise active, la phase d'atterrissage se poursuit en réalisant les mesures d'écartométrie à partir du second signal électromagnétique émis par la balise active dans le second cône d'émission.

- dans une phase d'approche, le procédé consiste à rapprocher l'aéronef de la direction d'émission de la balise active selon un plan sensiblement perpendiculaire à la direction d'émission, en réalisant périodiquement des mesures d'écartométrie.

- dans la phase d'approche, les mesures d'écartométrie sont réalisées sur le second signal émis dans le second cône d'émission, puis, lorsque les mesures d'écartométrie sur le second signal ne sont plus pertinentes, les mesures d'écartométrie sont réalisées sur le premier signal émis dans le premier cône d'émission.

L'invention a également pour objet un aéronef, caractérisé en ce qu'il embarque un dispositif parmi un radar multifaisceaux et une balise active d'un ensemble de guidage conforme à l'ensemble de guidage précédent.

L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description détaillée qui va suivre d'un mode de réalisation particulier, donné uniquement à titre d'exemple illustratif non limitatif, cette description étant faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 est une représentation schématique de l'atterrissage d'un aéronef sur une piste en mettant en œuvre un ensemble de guidage selon l'invention, qui comporte une balise active de marquage du centre de la piste et un radar multifaisceaux à bord de l'aéronef ;

5 La figure 2 est une représentation schématique d'un mode de réalisation de la balise active de la figure 1 ;

La figure 3 est une représentation schématique d'un mode de réalisation du radar multifaisceaux de la figure 1 ;

10 Les figures 4 et 5 sont des représentations géométriques permettant d'expliquer les mesures d'écartométrie réalisées par un radar multifaisceaux à partir du signal émis par une balise active ;

La figure 6 est une illustration d'une phase d'approche du procédé de guidage selon l'invention permettant de positionner le radar multifaisceaux à l'aplomb de la balise active ; et,

15 La figure 7 est une illustration d'une phase d'atterrissage du procédé de guidage selon l'invention permettant de rapprocher le radar multifaisceaux de la balise active.

En se référant à la figure 1, un ensemble de guidage est utilisé lors de l'atterrissage d'un aéronef 1 sur une piste 2, de manière à amener l'aéronef 1 sur un point de référence O avec une précision élevée.

20 Un repère (O, X Y Z) est associé à la piste 2 de sorte que son origine coïncide avec le point de référence O. Le plan de la piste 2 est défini par les axes X et Y, tandis que la direction perpendiculaire à la piste 2, correspond à l'axe Z, qui est ici considéré comme vertical.

25 L'ensemble de guidage comporte une balise active 100 et un radar multifaisceaux 50.

La balise active 100 permet de marquer le point de référence O. La balise active 100 est par exemple implantée dans la piste 2.

30 Le radar multifaisceaux 50 est embarqué à bord de l'aéronef 1. Le radar multifaisceaux 50 est par exemple fixe par rapport à l'aéronef 1.

Un repère (O', X' Y' Z') est associé au radar multifaisceaux 50. Pour simplifier la présente description, une fois l'aéronef posé sur la piste 2 dans la position recherchée, le repère (O', X' Y' Z') coïncide avec le repère (O, X Y Z).

35 Comme représenté sur la figure 2, la balise active 100 intègre une antenne 120 comportant trois éléments rayonnants 121, 122 et 123.

Chaque élément rayonnant est propre à émettre un signal électromagnétique caractéristique, selon un faisceau d'émission de forme sensiblement conique. Les différents faisceaux d'émission possèdent la même origine et un axe commun. Cet axe commun, ou direction d'émission de la balise active, correspondant à l'axe Z.

Plus précisément, le premier élément rayonnant 121 est propre à émettre un premier signal électromagnétique, à une première fréquence caractéristique f_1 , à l'intérieur d'un premier cône d'émission 111. Le premier cône d'émission 111 est tel que son sommet coïncide avec le point de référence O et que son axe coïncide avec l'axe Z. Ce premier cône d'émission 111 se caractérise par un angle d'ouverture θ_1 .

Le second élément rayonnant 122 est propre à émettre un second signal électromagnétique à une seconde fréquence caractéristique f_2 , à l'intérieur d'un second cône d'émission 112. Le second cône d'émission 112 est tel que son sommet coïncide avec le point de référence O et que son axe coïncide avec l'axe Z. Il se caractérise par un second angle d'ouverture θ_2 , strictement supérieur au premier angle d'ouverture θ_1 .

Le troisième élément rayonnant 123 est propre à émettre un troisième signal électromagnétique, à une troisième fréquence caractéristique F_3 , à l'intérieur d'un troisième cône d'émission 113. Le troisième cône d'émission 113 est tel que son sommet coïncide avec le point de référence O et que son axe coïncide avec l'axe Z. Il se caractérise par un troisième angle d'ouverture θ_3 strictement supérieur au second angle d'ouverture θ_2 .

Il est à noter que la figure 2 est schématique. La distance séparant les éléments rayonnants les uns des autres est suffisamment petite pour que l'on puisse considérer les faisceaux émis par chacun de ces éléments rayonnants comme superposés les uns aux autres.

La chaîne d'alimentation de l'antenne 120 intègre un générateur 170 propre à produire un signal d'alimentation du type peigne de fréquences : il comporte une première composante à la première fréquence caractéristique f_1 , une seconde composante à la seconde fréquence caractéristique f_2 , et une troisième composante à la troisième fréquence caractéristique f_3 .

En aval du générateur 170, un diviseur de puissance 160, sépare le signal d'alimentation en trois signaux d'alimentation élémentaires identiques.

Chaque signal d'alimentation élémentaire est appliqué en entrée d'une ligne d'alimentation, dont la sortie est connectée à un élément rayonnant associé.

Chaque ligne d'alimentation comporte un filtre suivi d'un amplificateur pour mettre en forme le signal d'excitation de l'élément rayonnant associé.

Plus précisément, le premier filtre 151 permet de sélectionner, dans le signal d'alimentation élémentaire, la première composante de fréquence f_1 . Cette dernière est amplifiée par l'amplificateur 141 avant d'être appliquée au premier élément rayonnant 121.

Le second filtre 152 permet de sélectionner, dans le signal d'alimentation élémentaire, la seconde composante de fréquence f_2 . Cette dernière est amplifiée par l'amplificateur 142 avant d'être appliquée au second élément rayonnant 122.

Le troisième filtre 153 permet de sélectionner, dans le signal d'alimentation élémentaire, la troisième composante de fréquence f_3 . Cette dernière est amplifiée par l'amplificateur 143 avant d'être appliquée au troisième élément rayonnant 123.

En se référant à la figure 3, le radar multifaisceaux 50 intègre une antenne 60. Le plan antennaire de l'antenne 60 correspond au plan $X'Y'$ et son centre géométrique, à l'origine O' .

L'antenne 60 comporte par exemple quatre antennes élémentaires, chaque antenne élémentaire étant propre à capter des signaux électromagnétique selon un faisceau de réception conique.

Plus précisément, dans le mode de réalisation de la figure 2, les points d'implantation des antennes élémentaires sur le plan antennaire correspondent aux sommets d'un carré de centre O' et de côté de longueur Δ .

L'antenne élémentaire 52_A , respectivement 52_B , 52_C et 52_D , collecte les signaux selon un cône de réception 51_A d'axe A, respectivement un cône de réception 51_B d'axe B, un cône de réception 51_C d'axe C et un cône de réception 51_D d'axe D.

Les axes des cônes de réception sont parallèles entre eux et à l'axe Z' . Ils sont cependant distincts de l'axe Z' et orientés vers les côtes négatives pour pouvoir capter le signal émis par la balise active 100.

Les différents cônes de réception présentent le même angle d'ouverture θ .

Le radar multifaisceaux 50 est par exemple un radar fonctionnant en émission / réception, qui n'est pas dédié au guidage, mais peut être utilisé pour réaliser d'autres tâches au cours du vol de l'aéronef 1. En revanche, lorsque le radar multifaisceaux 50 est utilisé pour le guidage, il fonctionne uniquement en réception.

Ainsi, le radar multifaisceaux 50 comporte quatre voies d'émission/réception identiques, respectivement 54_A, 54_B, 54_C et 54_D. Chaque voie est associée à l'une des antennes élémentaires.

Chaque voie comporte une ligne d'émission et une ligne de réception connectées à l'antenne élémentaire associée via un circulateur 55.

La ligne d'émission n'est pas présentée plus en détail puisque elle n'est pas utilisée pour le guidage.

Une ligne de réception reçoit en entrée le signal collecté par l'antenne élémentaire correspondante. Elle intègre de manière classique :

- un mélangeur de fréquences 56 pour la transposition du signal en bande de base, celle-ci étant caractérisée par une fréquence intermédiaire ;

- une unité d'amplification et de filtrage 57 pour isoler le signal utile à l'intérieur de la bande de base ; et,

- un convertisseur analogique/numérique 58 pour coder le signal filtré.

Le signal numérisé en sortie de chaque ligne de réception est appliqué en entrée d'un calculateur 59.

Le calculateur 59 est convenablement programmé de manière à réaliser périodiquement des mesures d'écartométrie et générer en sortie un signal de guidage S.

Via par exemple une interface homme/machine adaptée, le signal de guidage S est porté à la connaissance du pilote de l'aéronef 1 pour que ce dernier puisse en tenir compte dans la manière de manoeuvrer son appareil au cours de l'atterrissage. En variante, le signal de guidage S est transmis à un dispositif autopilote pour un atterrissage automatique de l'aéronef 1.

Le principe des mesures d'écartométrie réalisées par le calculateur 59 est illustré par les figures 4 et 5, pour le cas particulier où l'on ne considère qu'un unique cône d'émission, par exemple le premier cône d'émission 111.

La situation représentée à la figure 4 correspond au cas où le radar multifaisceaux 50 se situe à l'aplomb de la balise active 100 (l'axe Z' coïncidant alors avec l'axe Z). De plus, le plan antenne X'Y' est parallèle au plan XY de la piste 2.

Sont représentés le premier cône d'émission 111 de la balise 100 et les quatre cônes de réception 51_A, 51_B, 51_C et 51_D du radar 50 .

La figure 5 représente une section de ces différents cônes selon un plan intermédiaire 3 parallèle au plan XY de la piste 2. Le plan intermédiaire 3 est

solidaire de l'aéronef 1, c'est-à-dire que la distance entre le plan intermédiaire 3 et le plan X'Y' est constante.

L'intersection d'un cône avec le plan intermédiaire 3 se fait selon un cercle.

Lorsque l'altitude de l'aéronef 1 est élevée, les sections des cônes de réception 51_A, 51_B, 51_C et 51_D se situent à l'intérieur de la section du cône d'émission 111.

Lorsque l'altitude de l'aéronef 1 diminue, c'est-à-dire lorsque le radar 50 se rapproche de la balise active 100, le diamètre de la section du cône d'émission 111 diminue progressivement.

Autour d'une altitude limite H₁, la section du cône d'émission 111 est tangent aux différentes sections des cônes de réception 51_A, 51_B, 51_C et 51_D. Ceci est représenté en traits pleins sur la figure 5.

Lorsque l'altitude de l'aéronef 1 continue à diminuer, le diamètre de la section du cône d'émission 111 réduit de sorte que les sections des cônes de réception 51_A, 51_B, 51_C et 51_D finissent par sortir et se retrouver à l'extérieur du périmètre de la section du cône d'émission 111.

Pour les altitudes supérieures à l'altitude limite H₁, des mesures d'écartométrie permettent d'aligner l'axe Z' de l'aéronef sur l'axe Z de la balise.

Comme illustré sur la figure 5 en traits pointillés pour le cas de l'altitude limite H₁, dès que l'axe Z' du radar n'est plus aligné sur l'axe Z de la balise, la section du cône d'émission 111 est décalée par rapport au repère (O', X' Y'), de sorte que tout ou partie de certaines des sections des cônes de réception 51_A, 51_B, 51_C et 51_D sortent du périmètre de la section du cône d'émission 111. Il existe alors une différence entre l'amplitude des signaux captés par chacune des antennes élémentaires du radar 50. La détermination de cette différence permet une évaluation du désalignement des axe Z et Z'.

Le calculateur 59 est ainsi propre à calculer périodiquement les grandeurs :

$$\delta_X = (|A| + |C|) - (|B| + |D|)$$

$$\delta_Y = (|A| + |B|) - (|C| + |D|)$$

$$\Sigma = |A| + |B| + |C| + |D|$$

Où |A|, |B|, |C| et |D| sont les amplitudes des signaux captés respectivement par les antennes élémentaires 51_A, 51_B, 51_C et 51_D.

Le rapport de la grandeur δ_x sur la grandeur Σ est proportionnelle à l'écart Δ_x entre O' et O selon l'axe X et le rapport de la grandeur δ_y sur la grandeur Σ est proportionnelle à l'écart Δ_y entre O' et O selon l'axe Y.

5 Ainsi, la recherche, à chaque instant, du minimum de chacun de ces deux rapports permet le centrage de l'aéronef 1 sur la direction d'émission de la balise active 100.

Les mesures d'écartométrie permettent donc de corriger la position de l'aéronef 1 afin d'aligner l'axe Z' sur l'axe Z, tout en réduisant progressivement l'altitude de l'aéronef 1.

10 Cependant, comme indiqué ci-dessus, en-deçà de l'altitude limite H_1 , il n'est plus possible de réaliser les mesures d'écartométrie à partir du premier signal, les antennes élémentaires du radar 50 n'étant plus « éclairées » par le premier faisceau conique de la balise 100 .

Or l'altitude limite H_1 pour le premier cône d'émission 111 est donnée par la relation suivante :

$$\frac{\Delta/\sqrt{2}}{H_1} = \tan(\theta_1/2)$$

Où $\Delta/\sqrt{2}$ est la distance entre le centre d'une antenne élémentaire et le point O' dans le plan antenne du radar 50.

20 A Δ constant, on constate ainsi qu'il convient d'augmenter l'angle d'ouverture du cône d'émission pour réduire l'altitude limite.

Ceci est pris en compte dans le mode de réalisation actuellement préféré, pour lequel la balise active 100 émet des signaux dans des cônes d'émission de plus en plus ouverts.

25 Ainsi, dès que les mesures d'écartométrie ne peuvent plus être effectuées au moyen du premier signal (l'aéronef se trouvant à une altitude inférieure à l'altitude limite H_1 associée au premier cône d'émission 111), elles sont effectuées au moyen du second signal, émis dans un second cône d'émission 112 ayant une plus grande ouverture que le premier cône d'émission 111.

30 De manière similaire, dès que les mesures d'écartométrie ne peuvent plus être effectuées au moyen du second signal (l'aéronef se trouvant à une altitude inférieure à une altitude limite H_2 associée au second cône d'émission 112), elles sont effectuées au moyen du troisième signal, émis dans un troisième cône d'émission 113, ayant une plus grande ouverture que le second cône d'émission 112.

Le procédé de guidage selon l'invention va maintenant être décrit en référence aux figures 6 et 7, qui sont des vues selon un plan vertical XZ.

Au point de référence O, la balise active 100 émet simultanément trois signaux, à des fréquences caractéristiques différentes (respectivement f1, f2 et f3), dans trois cônes d'émission coaxiaux issus du point O (respectivement 111, 112 et 113).

La figure 6 illustre une phase d'approche du procédé de guidage permettant d'aligner l'axe Z' du radar 50 avec l'axe Z de la balise 100 par un déplacement selon la direction F1 de l'aéronef 1.

Dans cette phase d'approche, l'aéronef 1 s'approche de la piste 2.

Le radar 50 accroche le troisième signal émis dans le troisième cône d'émission 113, présentant la plus grande ouverture.

Par écartométrie sur ce troisième signal, l'aéronef 1 est guidé pour, à altitude sensiblement constante, se rapprocher de l'axe Z du troisième cône d'émission 113.

En poursuivant son déplacement, le radar 50 finit par accrocher le second signal émis dans le second cône d'émission 112. A partir de ce moment, les mesures d'écartométrie sont réalisées, non plus sur le troisième signal (ce qui ne serait plus discriminant), mais sur le second signal.

Le guidage de l'aéronef, toujours à une altitude sensiblement constante, peut se poursuivre pour le rapprocher davantage de l'axe Z du second cône d'émission 112.

En poursuivant son déplacement, le radar 50 finit par accrocher le premier signal émis dans le premier cône 111, ce qui permet alors de réaliser les mesures d'écartométrie, non plus sur le second signal, mais sur le premier signal.

L'aéronef 1 est ainsi progressivement amené sur la direction d'émission de la balise active 100, à l'aplomb du point de référence O

La figure 7 illustre la phase suivante du procédé de guidage. Il s'agit de la phase d'atterrissage proprement dite, permettant, tout en conservant l'alignement sur la direction d'émission de la balise active 100, d'approcher l'aéronef 1 du point de référence O. L'aéronef se déplace selon la direction F2.

Dans cette phase d'atterrissage, l'altitude de l'aéronef 1 est progressivement réduite tout en régulant la position de l'aéronef transversalement à l'axe Z en utilisant les mesures d'écartométrie réalisées à partir du premier signal émis dans le premier cône 111.

L'aéronef 1 finit par atteindre l'altitude limite H_1 associée au premier cône d'émission 111.

Pour pouvoir poursuivre le guidage de l'aéronef en-deçà de l'altitude limite H_1 , le radar multifaisceaux 50 utilise alors le second signal émis dans le second cône d'émission 112 pour réaliser les mesures d'écartométrie.

Ceci permet d'assujettir la position de l'aéronef le long de l'axe Z jusqu'à atteindre l'altitude limite H_2 associée au second cône d'émission 112.

Pour pouvoir approcher l'aéronef encore plus près du point de référence O, en-deçà de l'altitude limite H_2 , le radar multifaisceaux 50 utilise le troisième signal émis dans le troisième cône d'émission 113 pour réaliser les mesures d'écartométrie.

Ceci permet tout en guidant l'aéronef le long de l'axe Z, de l'amener jusqu'à l'altitude limite H_3 associée au troisième cône d'émission 113.

L'aéronef 1 se trouvant alors à proximité du point de référence O, il suffit de couper le moteur de l'aéronef 1 pour qu'il se pose sur la piste 2 à proximité immédiate du point de référence O.

En choisissant correctement la valeur des angles d'ouverture des cônes d'émission, ainsi que les paramètres caractéristiques du radar multifaisceaux (notamment la distance séparant les antennes élémentaires), il est possible de guider l'aéronef jusqu'à quelques millimètre du point de référence.

Avec ces valeurs, le système venant d'être décrit permet l'atterrissage d'un drone de petite taille à 10 mm du point de référence O. Ceci correspond à la précision recherchée.

De manière générale, l'antenne de la balise active comporte au moins un cône d'émission. La multiplication des cônes d'émission améliore la précision du guidage.

Dans un mode de réalisation, l'antenne comporte un unique cône d'émission, dont l'ouverture est ajustable, notamment en fonction de la distance séparant l'aéronef à guider du point de référence.

L'homme du métier connaît d'autres architectures de la chaîne d'alimentation du ou des éléments rayonnants de l'antenne, que celle décrite à la figure 2.

De manière générale, le radar multifaisceaux comporte une antenne intégrant au moins deux antennes élémentaires, séparées l'une de l'autre le long d'une direction de séparation. Le procédé de guidage s'effectue alors dans un plan défini par l'axe d'émission de la balise active et la direction de séparation du radar.

Dans le mode de réalisation présenté ci-dessus, les antennes élémentaires sont distantes les unes des autres dans le plan antenne et les axes des cônes de réception sont parallèles entre eux. En variante de cette configuration dite parallèle, l'antenne du radar multifaisceaux est configurée de manière à ce que les antennes élémentaires soient proches les unes des autres dans le plan antenne et que les axes des cônes de réception soient divergents (configuration divergente).

L'homme du métier connaît d'autres architectures de l'électronique associée à l'antenne du radar multifaisceaux, que celle décrite à la figure 3.

Au lieu que les différents signaux émis par la balise active soient caractérisés par une fréquence particulière, une autre propriété du signal peut être utilisée pour permettre une discrimination entre chacun des signaux émis. Par exemple, chaque signal pourrait être produit avec une modulation d'amplitude caractéristique, une modulation de phase caractéristique, une modulation de fréquence caractéristique, ou une polarisation (rectiligne, circulaire gauche ou circulaire droite) caractéristique.

Les différents signaux émis par la balise active peuvent être émis simultanément ou successivement.

Le signal électromagnétique émis par la balise active peut être un signal dans le spectre infrarouge, dans le spectre optique, dans le spectre radio, ou tout autre spectre électromagnétique adapté en fonction de l'application envisagée.

Dans une autre variante de réalisation, c'est le radar multifaisceaux qui marque le point de référence et la balise active qui est embarquée à bord de l'aéronef. Pour guider le déplacement de l'aéronef à partir des mesures d'écartométrie effectuées par le radar, il convient alors d'établir une liaison de communication entre le radar et l'aéronef pour que le pilote et/ou le système de pilotage de l'aéronef puisse recevoir les données nécessaires au guidage.

Par aéronefs, on entend tout type d'avions, d'hélicoptères, de dirigeables, ou plus généralement tout type d'engins volants manœuvrables.

REVENDICATIONS

1. Ensemble de guidage pour amener un aéronef (1) vers un point de référence (O), caractérisé en ce qu'il comporte :

5 - une balise active (100) propre à émettre un premier signal électromagnétique selon un premier cône d'émission (111), défini par un sommet coïncidant avec le point de référence, un premier angle d'ouverture (θ_1) et un premier axe correspondant à une direction d'émission (Z) ;

10 - un radar multifaisceaux (50), embarqué à bord de l'aéronef (1), fonctionnant en réception et propre à réaliser des mesures d'écartométrie sur un signal reçu depuis la balise active (100), le radar multifaisceaux (50) comportant une antenne (60) adaptée pour une réception selon au moins deux cônes de réception (51_A, 51_B, 51_C, 51_D) spatialement séparés.

15 2. Ensemble de guidage selon la revendication 1, dans lequel la balise active (100) est propre à émettre, en outre, au moins un second signal électromagnétique selon un second cône d'émission (112), le sommet du second cône d'émission coïncidant avec le point de référence (O), l'axe du second cône d'émission coïncidant avec la direction d'émission (Z), et un second angle d'ouverture (θ_2), le second angle d'ouverture
20 étant strictement supérieur au premier angle d'ouverture (θ_1) du premier cône d'émission (111), le second signal et le premier signal étant séparables l'un de l'autre selon une propriété prédéfinie, le radar multifaisceaux (50) étant propre à séparer, dans le signal reçu de la balise active (100), une contribution du premier signal et une contribution du second signal et à réaliser des mesures d'écartométrie à partir de la contribution du
25 premier signal et/ou de la contribution du second signal.

3. Ensemble de guidage selon la revendication 2, dans lequel, la propriété prédéfinie étant une fréquence, la balise active (100) est propre à émettre le premier signal selon une première fréquence caractéristique et le second signal selon une
30 seconde fréquence caractéristique, la seconde fréquence étant différente de la première.

4. Ensemble de guidage selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le radar multifaisceaux (50) présente une configuration dite parallèle dans laquelle les axes des cônes de réception sont parallèles entre eux ou une configuration dite divergente dans laquelle les axes des cônes de réception divergent à partir d'un
35 centre de l'antenne du radar.

5. Ensemble de guidage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'antenne (60) du radar multifaisceaux (50) comporte quatre antennes élémentaires (52_A, 52_B, 52_C, 52_D), chaque antenne élémentaire étant associée à un cône de réception (51_A, 51_B, 51_C, 51_D).

5

6. Procédé de guidage pour amener un aéronef (1) vers un point de référence (O), en utilisant un ensemble de guidage conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 5, consistant, dans une phase d'atterrissage, à rapprocher l'aéronef du point de référence le long de la direction d'émission (Z) de la balise active (100), en contrôlant une position de l'aéronef dans un plan perpendiculaire à la direction d'émission en fonction de mesures d'écartométrie réalisées périodiquement par le radar multifaisceaux (50) à partir du signal électromagnétique reçu de la balise active (100).

10

7. Procédé de guidage selon la revendication 6, dans lequel, l'ensemble de guidage étant conforme à la revendication 2, lorsque, dans la phase d'atterrissage, la distance entre l'aéronef (1) et le point de référence (O) est inférieure à une altitude limite (H₁) caractéristique du premier cône d'émission (111) de la balise active (100) et que les mesures d'écartométrie ne peuvent plus être réalisées à partir du premier signal électromagnétique émis par la balise active (100), la phase d'atterrissage se poursuit en réalisant les mesures d'écartométrie à partir du second signal électromagnétique émis par la balise active (100) dans le second cône d'émission (112).

15

20

8. Procédé de guidage selon la revendication 6 ou la revendication 7, consistant, dans une phase d'approche, à rapprocher l'aéronef (1) de la direction d'émission (Z) de la balise active (100) selon un plan sensiblement perpendiculaire à la direction d'émission (Z), en réalisant périodiquement des mesures d'écartométrie.

25

9. Procédé de guidage selon la revendication 8, dans lequel, l'ensemble de guidage étant conforme à la revendication 2, dans la phase d'approche, les mesures d'écartométrie sont réalisées sur le second signal émis dans le second cône d'émission (112), puis, lorsque les mesures d'écartométrie sur le second signal ne sont plus pertinentes, les mesures d'écartométrie sont réalisées sur le premier signal émis dans le premier cône d'émission (111).

30

10. Aéronef (1), caractérisé en ce qu'il embarque un dispositif parmi un radar multifaisceaux (50) et une balise active (100) d'un ensemble de guidage selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

35

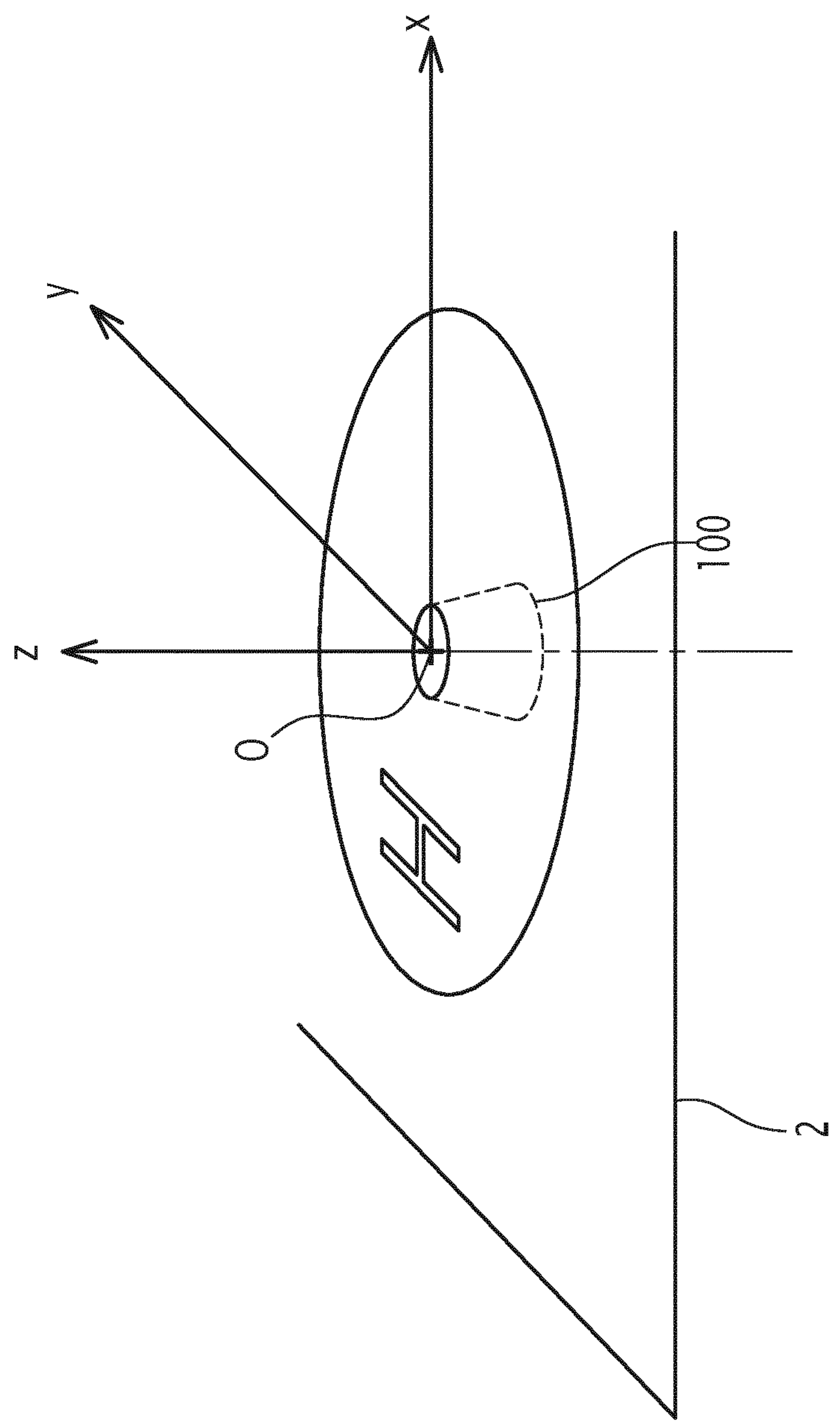
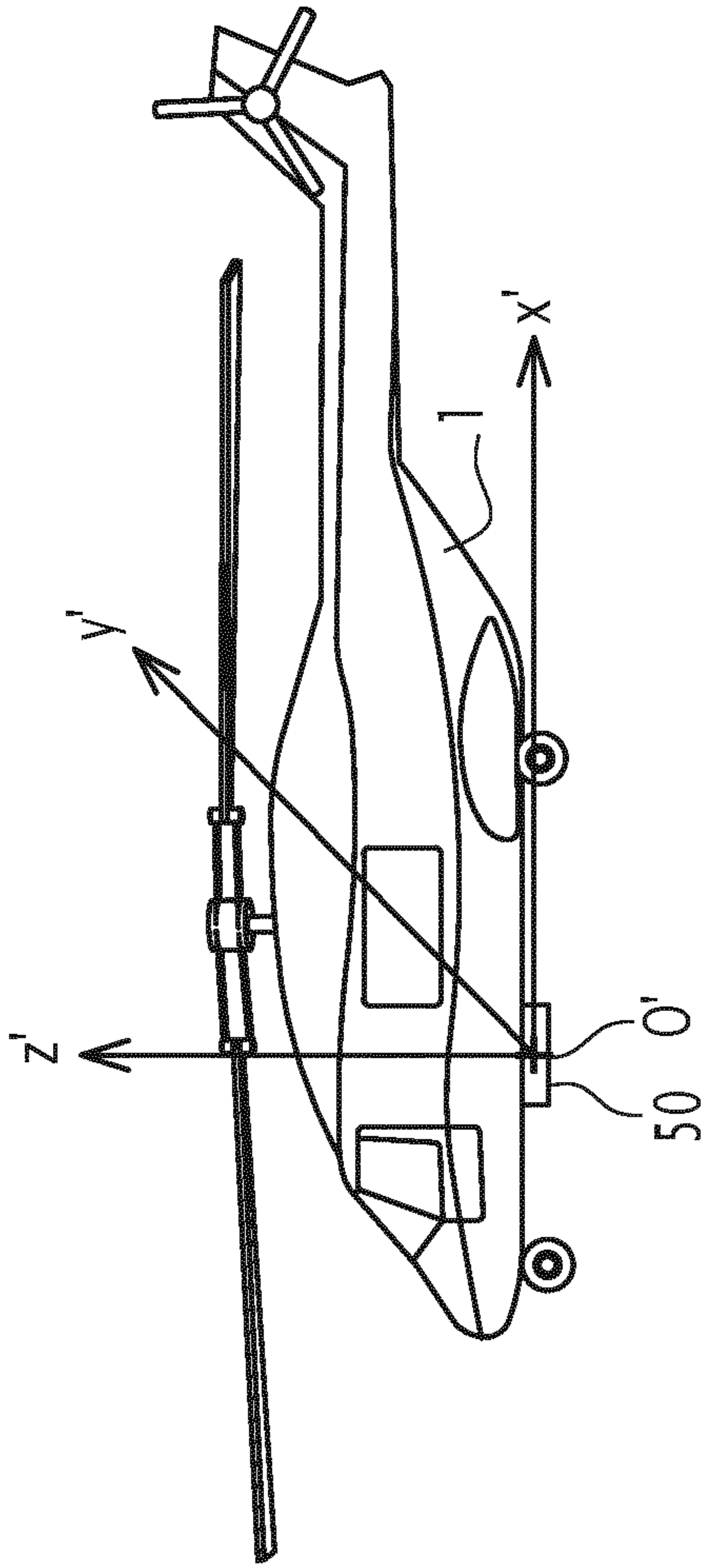


FIG.1

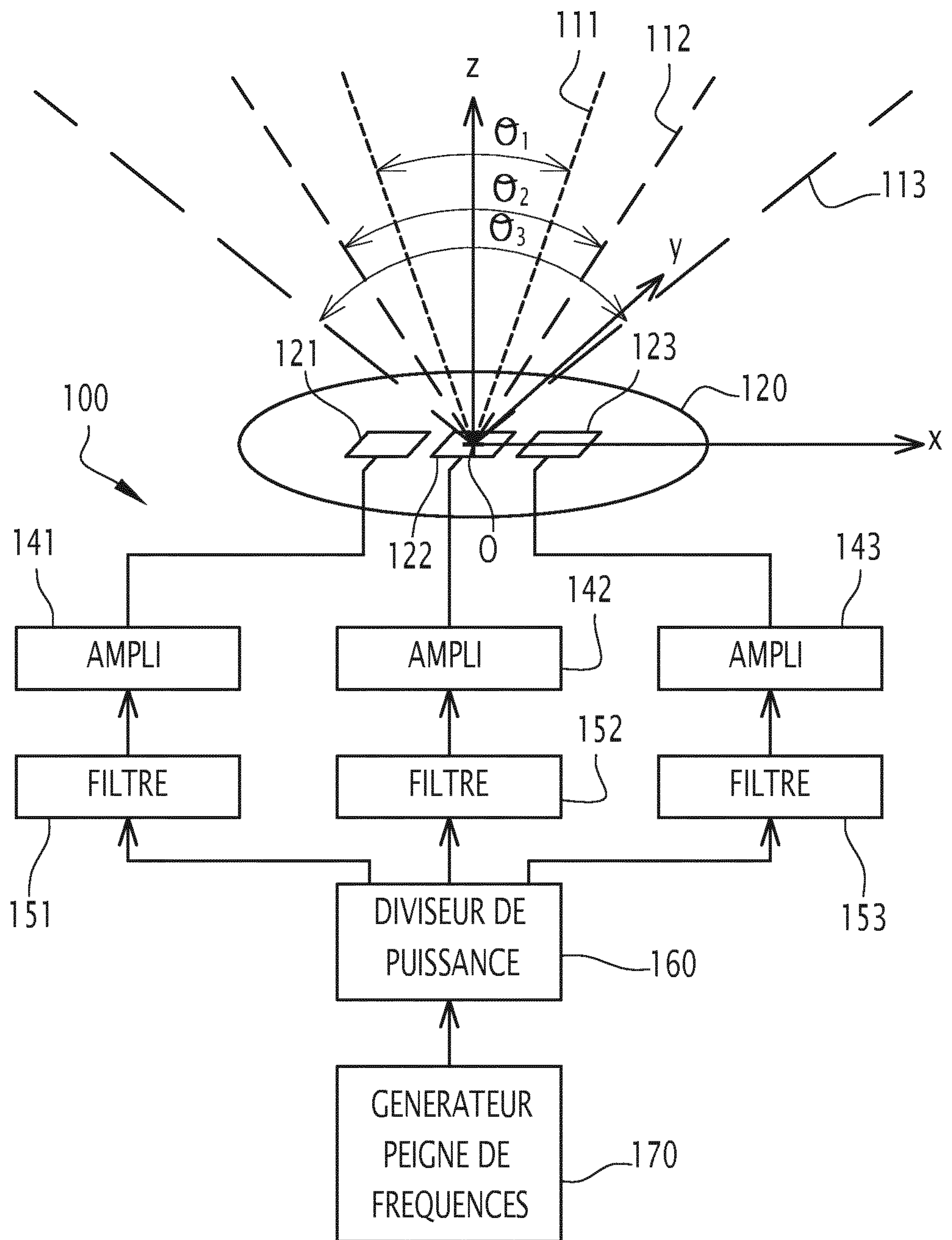


FIG.2

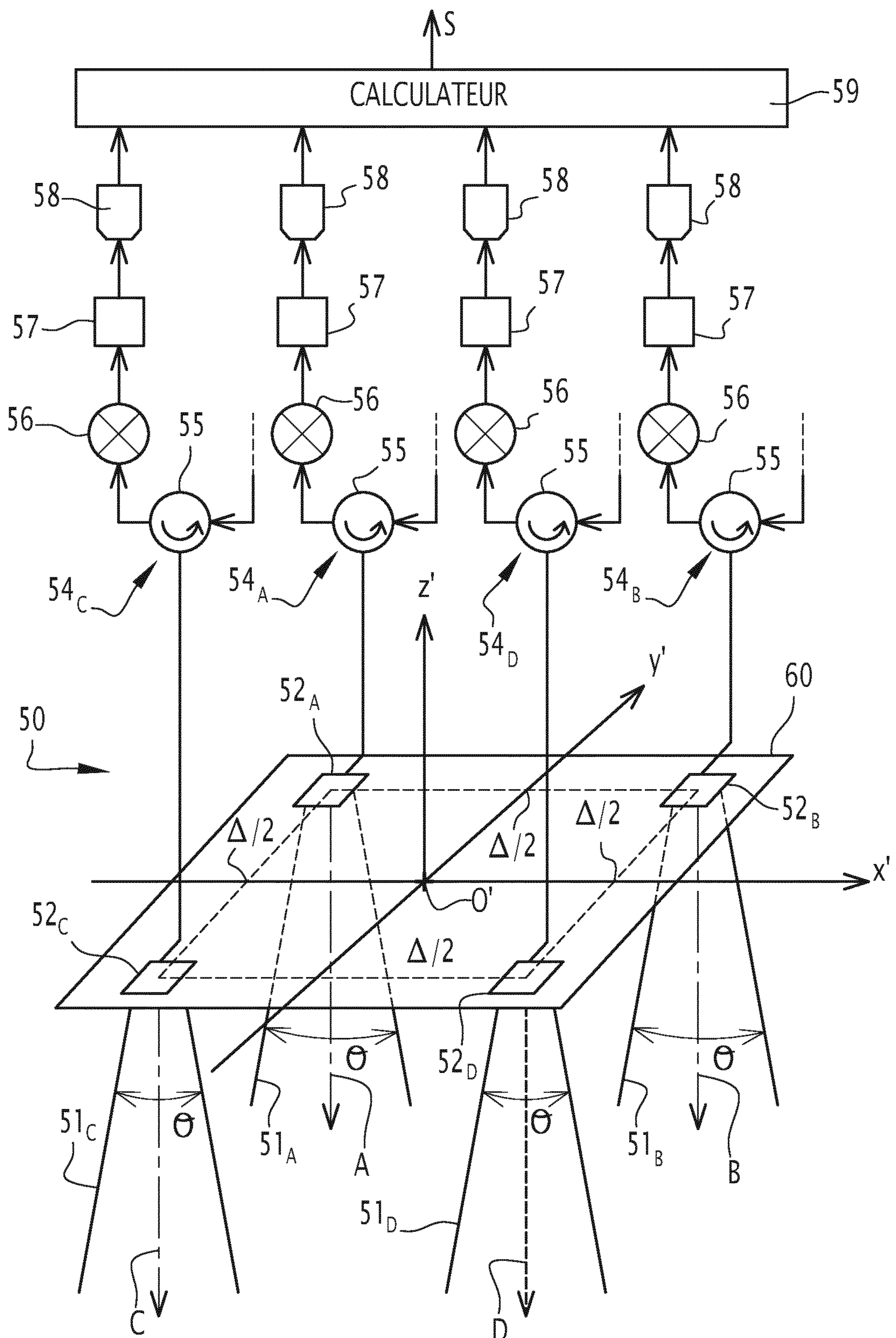


FIG.3

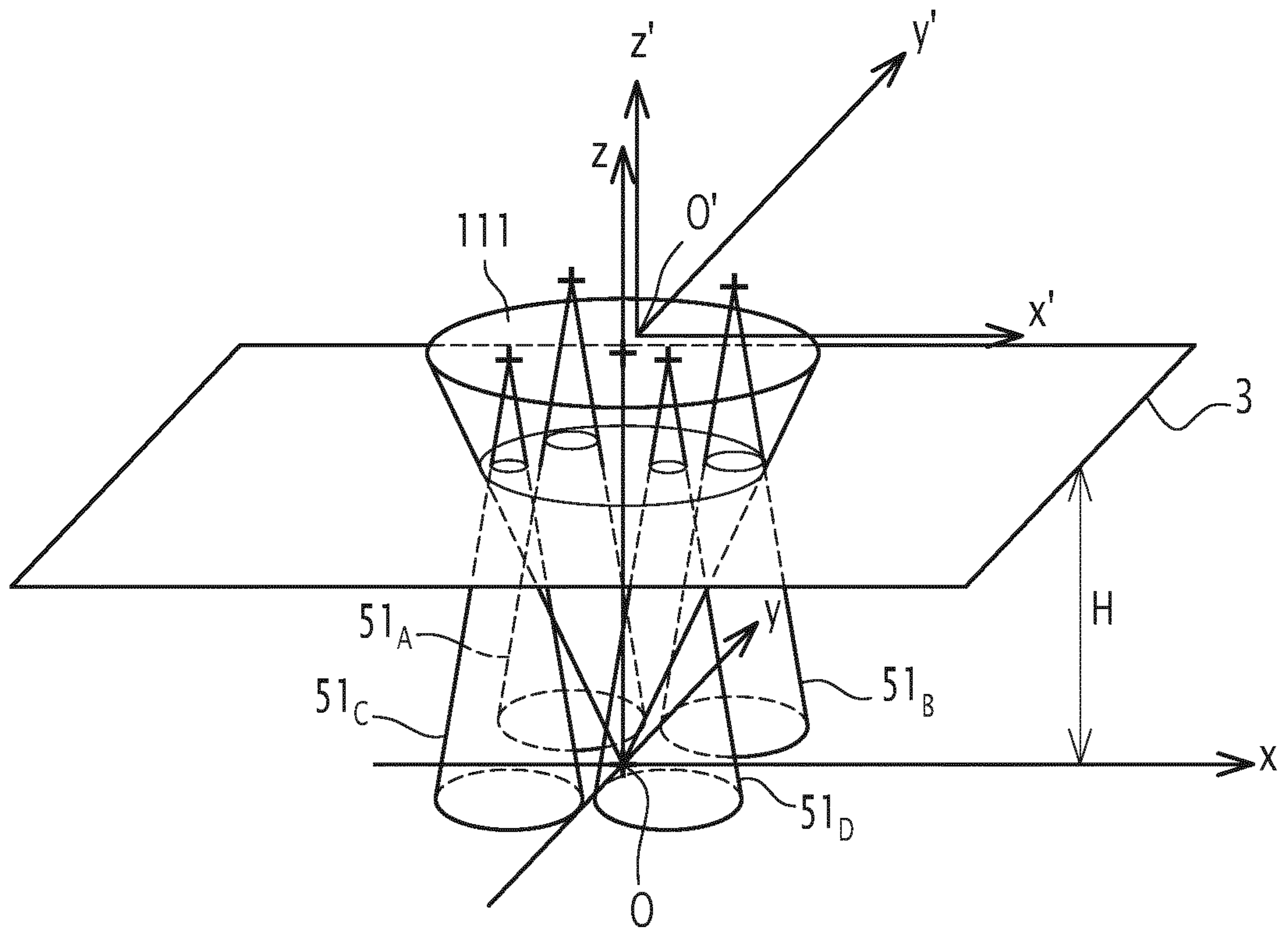


FIG.4

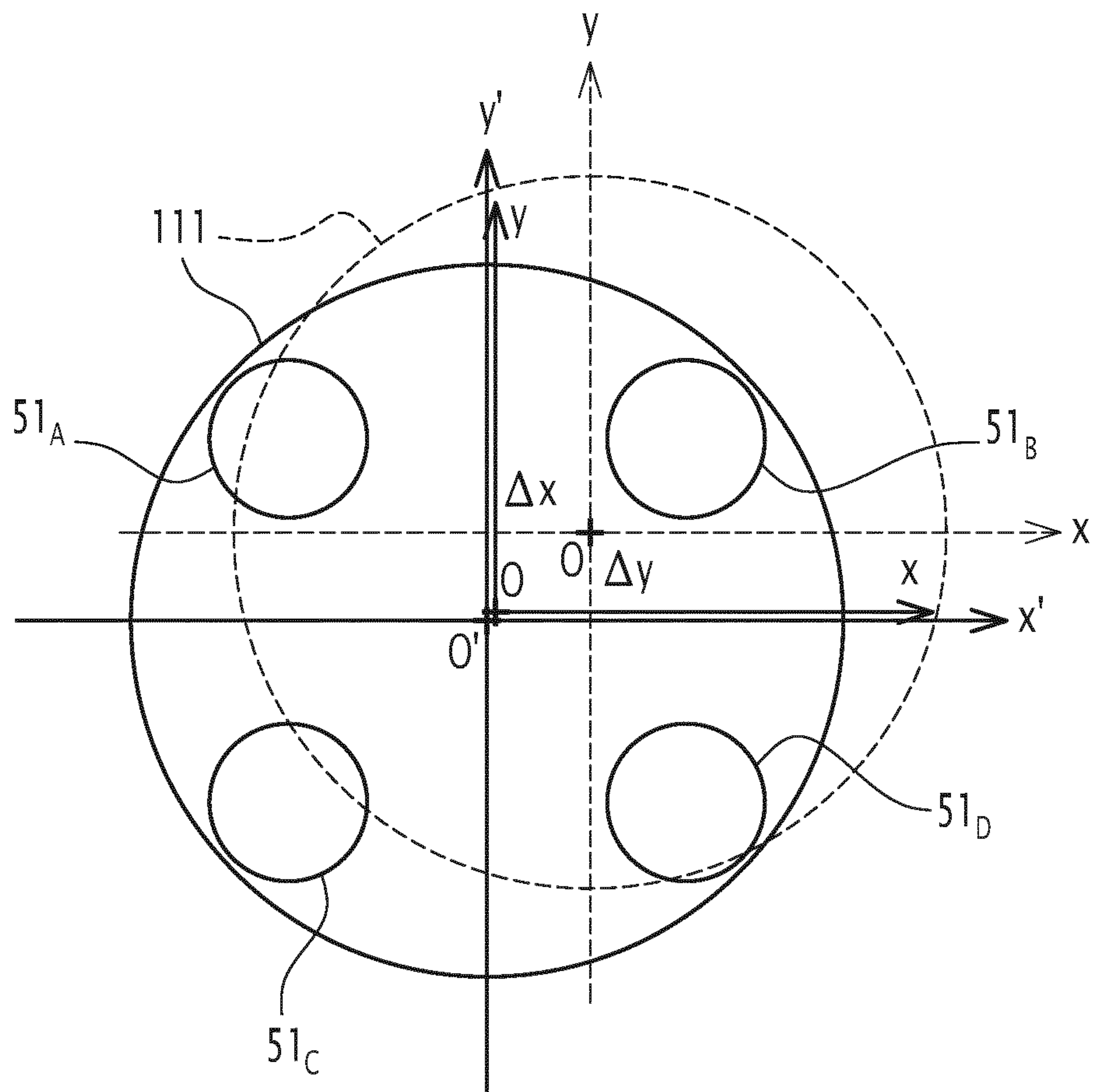


FIG.5

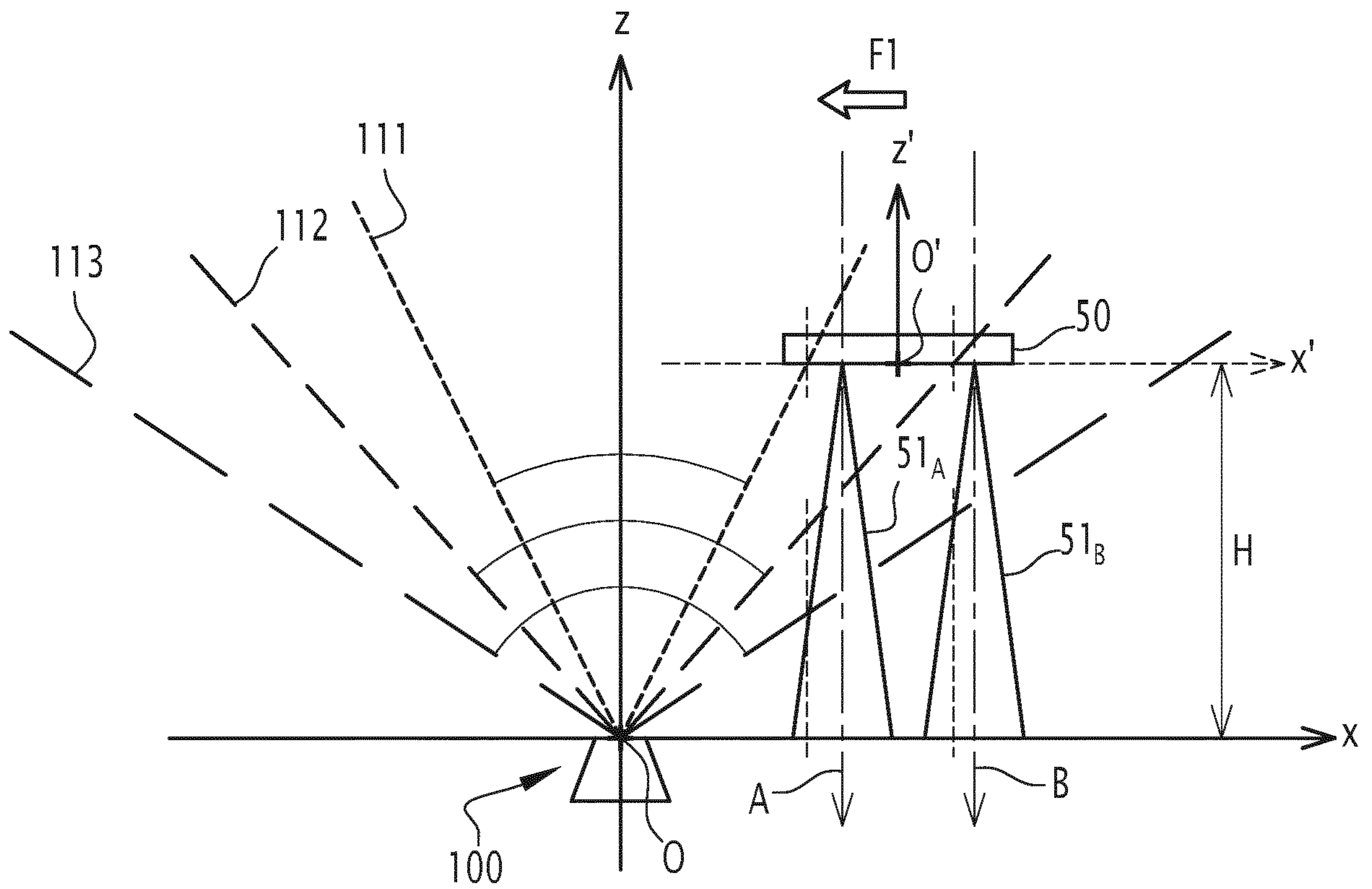


FIG.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/083465

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G05D 1/06</i> (2006.01)i; <i>G01S 1/14</i> (2006.01)i; <i>G01S 13/91</i> (2006.01)i; <i>G01S 1/04</i> (2006.01)i; <i>G01S 1/68</i> (2006.01)i; <i>G01S 3/28</i> (2006.01)i; <i>G01S 7/03</i> (2006.01)i; <i>G01S 13/48</i> (2006.01)i; <i>G01S 13/87</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01S; G05D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102007050246 A1 (DIEHL BGT DEFENCE GMBH & CO KG [DE]) 30 April 2009 (2009-04-30)	1,4-6,8,10
A	page 2, paragraph 1 - page 6, paragraph 49; figures 1-6	2,3,7,9
A	US 2019113593 A1 (BAZILE JERÔME [FR] ET AL) 18 April 2019 (2019-04-18) page 1, paragraph 1 - page 1, paragraph 5; figures 1A, 1B, 2 page 3, paragraph 38 - page 4, paragraph 43; figures 2-6	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 25 January 2021		Date of mailing of the international search report 02 February 2021
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Burchielli, M Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2020/083465

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102007050246	A1	30 April 2009	AT	505986	A2	15 May 2009
				DE	102007050246	A1	30 April 2009
US	2019113593	A1	18 April 2019	CN	109671303	A	23 April 2019
				EP	3474030	A1	24 April 2019
				FR	3072490	A1	19 April 2019
				US	2019113593	A1	18 April 2019

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2020/083465

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G05D1/06 G01S1/14 G01S13/91 G01S1/04 G01S1/68 G01S3/28 G01S7/03 G01S13/48 G01S13/87 ADD. Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB					
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01S G05D Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data					
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS					
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents				no. des revendications visées
X	DE 10 2007 050246 A1 (DIEHL BGT DEFENCE GMBH & CO KG [DE]) 30 avril 2009 (2009-04-30)				1,4-6,8,10
A	page 2, alinéa 1 - page 6, alinéa 49; figures 1-6				2,3,7,9
A	----- US 2019/113593 A1 (BAZILE JERÔME [FR] ET AL) 18 avril 2019 (2019-04-18) page 1, alinéa 1 - page 1, alinéa 5; figures 1A, 1B, 2 page 3, alinéa 38 - page 4, alinéa 43; figures 2-6 -----				1-10
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe					
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets					
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée			Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale		
25 janvier 2021			02/02/2021		
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016			Fonctionnaire autorisé Burchielli, M		

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2020/083465

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102007050246 A1	30-04-2009	AT 505986 A2 DE 102007050246 A1	15-05-2009 30-04-2009

US 2019113593 A1	18-04-2019	CN 109671303 A EP 3474030 A1 FR 3072490 A1 US 2019113593 A1	23-04-2019 24-04-2019 19-04-2019 18-04-2019
