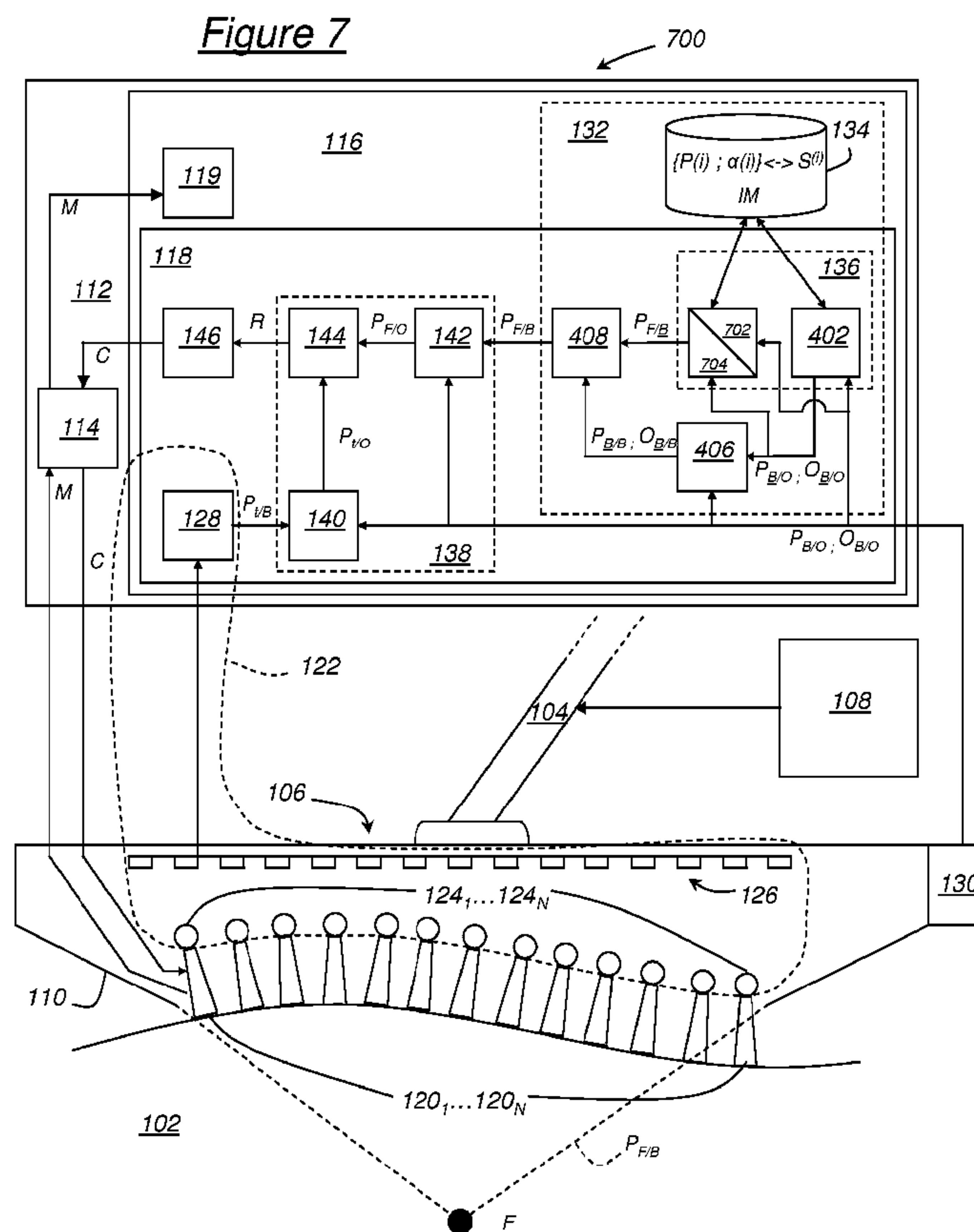




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2011/09/27
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2012/04/19
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2013/03/25
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2011/052259
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2012/049393
 (30) Priorité/Priority: 2010/10/11 (FR1058242)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01N 29/24* (2006.01),
G01N 29/26 (2006.01), *G01N 29/265* (2006.01)
 (71) Demandeur/Applicant:
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX
ENERGIES ALTERNATIVES, FR
 (72) Inventeurs/Inventors:
CASULA, OLIVIER, FR;
BEY, SEBASTIEN, FR
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : DISPOSITIF DE SONDAGE A ULTRASONS, PROCEDE DE COMMANDE DE TRANSDUCTEURS D'UNE
SONDE A ULTRASONS ET PROGRAMME D'ORDINATEUR CORRESPONDANT
 (54) Title: ULTRASOUND PROBING DEVICE, METHOD OF CONTROLLING TRANSDUCERS OF AN ULTRASOUND
PROBE AND CORRESPONDING COMPUTER PROGRAM



(57) **Abrégé/Abstract:**

Ce dispositif de sondage à ultrasons comporte : un boîtier (110); des moyens de localisation (130) conçus pour fournir une position $P_{B/O}$ du boîtier (110) par rapport à un référentiel lié à un objet à sonder (102); des moyens (114, 138) de détermination

(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):

d'une loi de retards à partir de paramètres de focalisation, notés $P_{F/B}$, représentant une position souhaitée d'un point focal par rapport à un référentiel lié au boîtier (110); des moyens de commande (114, 146) conçus pour fournir des signaux de commande à partir de la loi de retards; des transducteurs ($120_1 \dots 120_N$) attachés au boîtier (110), conçus pour recevoir les signaux de commande et pour, en réponse, émettre dans l'objet (102) des ondes ultrasonores retardées les unes par rapport aux autres suivant la loi de retards de manière qu'elles focalisent au point focal défini par les paramètres de focalisation $P_{F/B}$; et des moyens (132) de mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à partir, d'une part, d'associations prédéfinies entre des positions sur un trajet souhaité du boîtier (110) par rapport au référentiel lié à l'objet (102) et des valeurs correspondantes des paramètres de focalisation, et, d'autre part, de la position $P_{B/O}$ du boîtier (110).

(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 2012/049393 A1

(43) Date de la publication internationale
19 avril 2012 (19.04.2012)

- (51) Classification internationale des brevets :
G01N 29/24 (2006.01) *G01N 29/265* (2006.01)
G01N 29/26 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/052259
- (22) Date de dépôt international :
27 septembre 2011 (27.09.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1058242 11 octobre 2010 (11.10.2010) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES** [FR/FR]; 25, rue
Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **CASULA, Olivier** [FR/FR]; 46 rue du Mesnil, F-91310 Longpont sur Orge (FR). **BEY, Sébastien** [FR/FR]; 60 rue Alfred de Musset, bât. 18, F-91400 Orsay (FR).
- (74) Mandataire : **BONNET, Michel**; Cabinet Bonnet, Boîte n° 10, 93, rue Réaumur, F-75002 Paris (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

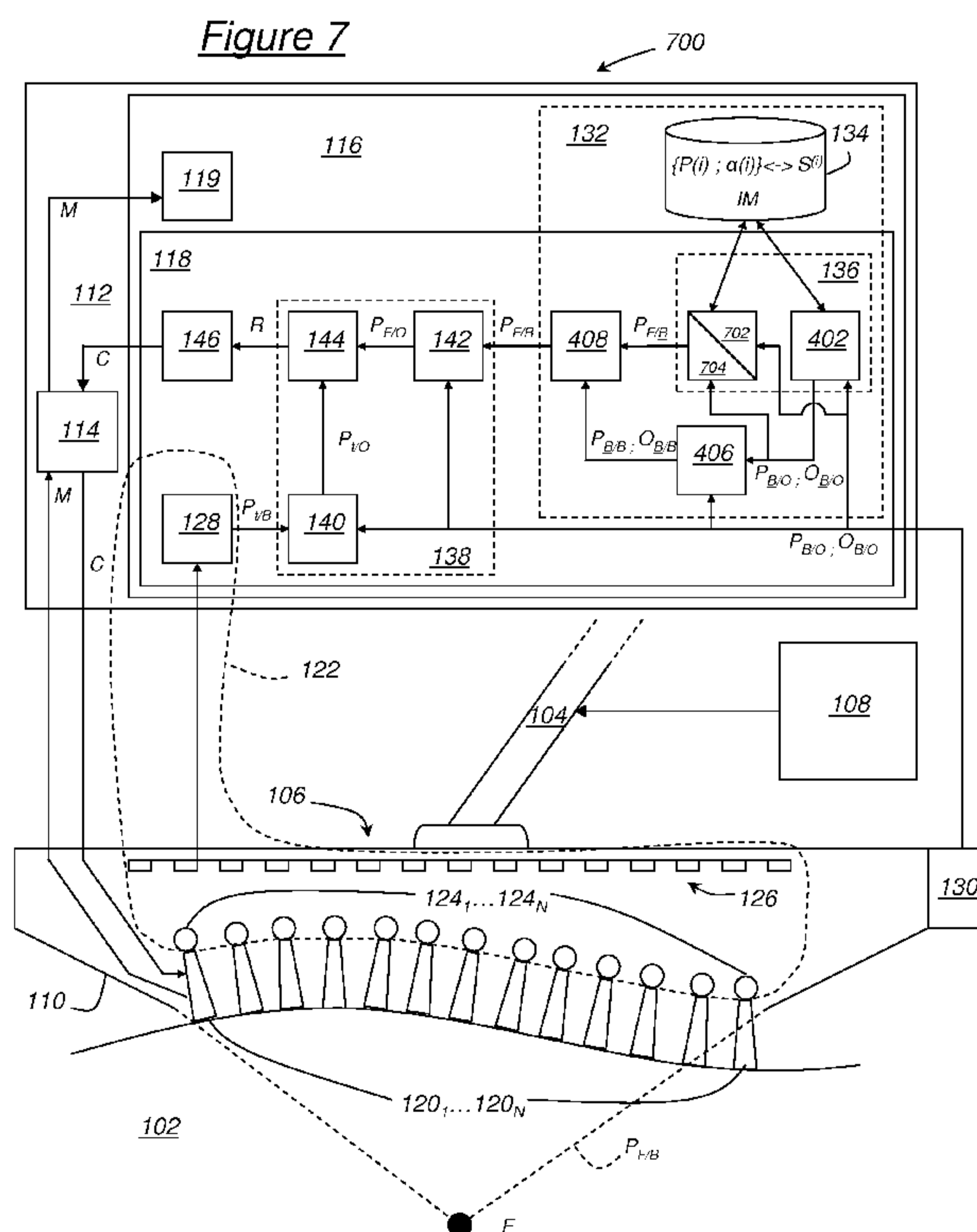
(54) Title : ULTRASOUND PROBING DEVICE, METHOD OF CONTROLLING TRANSDUCERS OF AN ULTRASOUND PROBE AND CORRESPONDING COMPUTER PROGRAM

(54) Titre : DISPOSITIF DE SONDAGE À ULTRASONS, PROCÉDÉ DE COMMANDE DE TRANSDUCTEURS D'UNE SONDE À ULTRASONS ET PROGRAMME D'ORDINATEUR CORRESPONDANT

(57) Abstract : This ultrasound probing device comprises: a casing (110); locating means (130) designed to provide a position $P_{B/O}$ of the casing (110) with respect to a reference frame tied to an object to be probed (102); means (114, 138) for determining a law of delays on the basis of focusing parameters, denoted $P_{F/B}$, representing a desired position of a focal point with respect to a reference frame tied to the casing (110); control means (114, 146) designed to provide control signals on the basis of the law of delays; transducers ($120_1 \dots 120_N$) attached to the casing (110), and designed to receive the control signals and, in response, to emit into the object (102) ultrasound waves delayed with respect to one another according to the law of delays in such a way that they focus at the focal point defined by the focusing parameters $P_{F/B}$; and means (132) for updating the focusing parameters $P_{F/B}$ on the basis, on the one hand, of predefined associations between positions on a desired path of the casing (110) with respect to the reference frame tied to the object (102) and of the corresponding values of the focusing parameters, and, on the other hand, of the position $P_{B/O}$ of the casing (110).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2012/049393 A1 

(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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

Publiée :

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

Ce dispositif de sondage à ultrasons comporte : un boîtier (110); des moyens de localisation (130) conçus pour fournir une position $P_{B/O}$ du boîtier (110) par rapport à un référentiel lié à un objet à sonder (102); des moyens (114, 138) de détermination d'une loi de retards à partir de paramètres de focalisation, notés $P_{F/B}$, représentant une position souhaitée d'un point focal par rapport à un référentiel lié au boîtier (110); des moyens de commande (114, 146) conçus pour fournir des signaux de commande à partir de la loi de retards; des transducteurs ($120_1 \dots 120_N$) attachés au boîtier (110), conçus pour recevoir les signaux de commande et pour, en réponse, émettre dans l'objet (102) des ondes ultrasonores retardées les unes par rapport aux autres suivant la loi de retards de manière qu'elles focalisent au point focal défini par les paramètres de focalisation $P_{F/B}$; et des moyens (132) de mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à partir, d'une part, d'associations prédéfinies entre des positions sur un trajet souhaité du boîtier (110) par rapport au référentiel lié à l'objet (102) et des valeurs correspondantes des paramètres de focalisation, et, d'autre part, de la position $P_{B/O}$ du boîtier (110).

Dispositif de sondage à ultrasons, procédé de commande de transducteurs d'une sonde à ultrasons et programme d'ordinateur correspondant

La présente invention concerne un dispositif de sondage à ultrasons, un procédé de commande de transducteurs d'une sonde à ultrasons et un programme d'ordinateur correspondant.

L'invention s'applique notamment au domaine de l'imagerie médicale, ainsi qu'au contrôle non destructif de pièces mécaniques, en particulier de pièces ayant une forme complexe.

La terminologie suivante sera utilisée dans la description qui va suivre, ainsi que dans les revendications.

Une onde ultrasonore, ou ultrasons, est une onde mécanique de fréquences supérieures à 20 000 Hertz se propageant dans un milieu solide, liquide ou gazeux.

Les termes « position ou orientation d'un élément X par rapport à un élément Y », signifient « position ou orientation d'un référentiel lié à l'élément X par rapport à un référentiel lié à l'élément Y ».

Le brevet français publié sous le numéro FR 2 786 651 décrit un dispositif de sondage à ultrasons comportant un boîtier, des moyens de localisation conçus pour fournir une position $P_{B/O}$ du boîtier par rapport à un référentiel lié à un objet à sonder, des moyens de détermination d'une loi de retards à partir de paramètres de focalisation, notés $P_{F/B}$, représentant une position souhaitée d'un point focal par rapport à un référentiel lié au boîtier, des moyens de commande conçus pour fournir des signaux de commande à partir de la loi de retards, et des transducteurs attachés au boîtier, conçus pour recevoir les signaux de commande et pour, en réponse, émettre dans l'objet des ondes ultrasonores retardées les unes par rapport aux autres suivant la loi de retards de manière qu'elles focalisent au point focal défini par les paramètres de focalisation $P_{F/B}$.

Dans ce document, les transducteurs sont attachés de manière mobile au boîtier afin de pouvoir épouser la géométrie de la surface de l'objet à sonder. Il est alors prévu des moyens pour déterminer les positions des transducteurs à chaque instant et pour fournir ces positions aux moyens de détermination de la loi de retards. Ainsi, les moyens de détermination de la loi de retards peuvent tenir compte des positions des transducteurs mobiles pour corriger la loi de retards qu'ils appliquent et conserver la position souhaitée du point focal par rapport au boîtier.

Mais cette souplesse a ses limites puisqu'il est prévu une unique position souhaitée du point focal par rapport au boîtier, prédéterminée pour toute la durée du sondage de l'objet et directement intégrée dans les formules appliquées par les moyens de détermination de la loi de retards.

Il peut ainsi être souhaité de prévoir un dispositif de sondage à ultrasons qui permette de présenter davantage de souplesse dans son utilisation, notamment par exemple en permettant des trajets complexes du point focal au cours du sondage de l'objet.

L'invention a donc pour objet un dispositif de sondage à ultrasons comportant un boîtier, des moyens de localisation conçus pour fournir une position $P_{B/O}$ du boîtier par rapport à un référentiel lié à un objet à sonder, des moyens de détermination d'une loi de retards à partir de paramètres de focalisation, notés $P_{F/B}$, représentant une position souhaitée d'un point focal par rapport à un référentiel lié au boîtier, des moyens de commande conçus pour fournir des signaux de commande à partir de la loi de retards, des transducteurs attachés au boîtier, conçus pour recevoir les signaux de commande et pour, en réponse, émettre dans l'objet des ondes ultrasonores retardées les unes par rapport aux autres suivant la loi de retards de manière qu'elles focalisent au point focal défini par les paramètres de focalisation $P_{F/B}$, et des moyens de mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à partir, d'une part, d'associations prédéfinies entre des positions sur un trajet souhaité du boîtier par rapport au référentiel lié à l'objet et des valeurs correspondantes des paramètres de focalisation, et, d'autre part, de la position $P_{B/O}$ du boîtier.

Ainsi, grâce à l'invention, il est possible de prévoir des modifications des paramètres de focalisation, c'est-à-dire de la position souhaitée du point focal par rapport au boîtier, au cours du trajet suivi par le boîtier et les transducteurs du dispositif de sondage. L'invention permet donc d'obtenir plus de liberté dans le trajet suivi par le point focal dans l'objet à sonder. Par exemple, il est possible de modifier la profondeur du point focal (distance entre la surface de l'objet où sont appliqués les transducteurs et le point focal) selon le trajet suivi par le boîtier et les transducteurs afin de suivre un fond irrégulier d'un objet depuis une face plane opposée.

De façon optionnelle, les moyens de localisation du boîtier comportent un capteur conçu pour mesurer la position $P_{B/O}$ du boîtier.

De façon optionnelle également, les moyens de mise à jour comportent des moyens de sélection conçus pour fournir une valeur des paramètres de focalisation

associée, par les associations prédéfinies, à au moins une position sur le trajet souhaité, à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier.

De façon optionnelle également, les moyens de mise à jour sont conçus pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à la valeur des paramètres de focalisation fournie par les moyens de sélection.

De façon optionnelle également, les moyens de mise à jour comportent en outre :

- des moyens de recalage conçus pour déterminer une position du boîtier par rapport au référentiel lié à l'objet recalée sur le trajet souhaité à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier, cette position recalée étant notée $P_{\underline{B}/O}$, et/ou une orientation du boîtier recalée sur une orientation souhaitée du boîtier à partir de l'orientation $O_{B/O}$ du boîtier, cette orientation recalée étant notée $O_{\underline{B}/O}$,
- des moyens de détermination d'écart conçus pour déterminer un écart de position, noté $P_{\underline{B}/B}$, entre la position $P_{B/O}$ du boîtier et la position recalée $P_{\underline{B}/O}$, et/ou un écart d'orientation, noté $O_{\underline{B}/B}$, entre l'orientation $O_{B/O}$ du boîtier et l'orientation recalée $O_{\underline{B}/O}$,
- des moyens de correction conçus pour corriger la valeur des paramètres de focalisation fournie par les moyens de sélection à partir de l'écart de position $P_{\underline{B}/B}$ et/ou de l'écart d'orientation $O_{\underline{B}/B}$,

et les moyens de mise à jour sont conçus pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à la valeur corrigée des paramètres de focalisation fournie par les moyens de correction.

De façon optionnelle également, le trajet souhaité comportant des segments de trajet $S^{(i)}$, les associations prédéfinies associent des valeurs de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ des paramètres de focalisation respectivement à chaque segment de trajet $S^{(i)}$, et les moyens de sélection sont conçus pour sélectionner un des segments de trajet $S^{(i)}$ à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier et pour fournir la valeur de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ associée au segment de trajet $S^{(i)}$ sélectionné.

De façon optionnelle également, les associations prédéfinies comportent des paramètres d'une opération de recalage donnant une valeur des paramètres de focalisation à partir d'une position sur le trajet souhaité et les moyens de sélections comportent des moyens conçus pour calculer, au moyen des paramètres de l'opération de recalage, la valeur des paramètres de focalisation à partir d'une position sur le trajet souhaité déterminée à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier.

De façon optionnelle également, les transducteurs sont attachés de manière mobile au boîtier, le dispositif comporte des moyens de localisation des transducteurs conçus pour déterminer des positions $P_{v/B}$ des transducteurs par rapport à un référentiel lié au boîtier, et les moyens de détermination de la loi de retards sont conçus pour déterminer la loi de retards à partir en outre de ces positions $P_{v/B}$ des transducteurs.

L'invention a également pour objet un procédé de commande de transducteurs d'une sonde à ultrasons, comportant les étapes suivantes :

- recevoir une position $P_{B/O}$ d'un boîtier de la sonde par rapport à un référentiel lié à un objet à sonder, les transducteurs étant attachés à ce boîtier,
- déterminer une loi de retards à partir de paramètres de focalisation, notés $P_{F/B}$, représentant une position souhaitée d'un point focal par rapport à un référentiel lié au boîtier,
- fournir des signaux de commande aux transducteurs à partir de la loi de retards, et
- mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$, à partir, d'une part, d'associations prédéfinies entre des positions sur un trajet souhaité du boîtier par rapport au référentiel lié à l'objet et des valeurs correspondantes des paramètres de focalisation et, d'autre part, de la position $P_{B/O}$ du boîtier.

L'invention a également pour objet un programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou enregistré sur un support lisible par ordinateur et/ou exécutable par un processeur, comprenant des instructions pour la mise en œuvre d'un procédé de commande de transducteurs d'une sonde à ultrasons selon l'invention, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement la structure générale d'un dispositif de sondage d'un objet comportant une sonde à ultrasons, selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 illustre les étapes successives d'un procédé de sondage mis en œuvre à l'aide du dispositif de la figure 1,

- la figure 3 illustre un trajet de la sonde de la figure 1 sur l'objet à sonder, ainsi que le déplacement d'un point focal de la sonde dans l'objet,
- la figure 4 représente schématiquement la structure générale d'un dispositif de sondage d'un objet comportant une sonde à ultrasons, selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5 illustre les étapes successives d'un procédé de sondage mis en œuvre à l'aide du dispositif de la figure 4,
- la figure 6 illustre un trajet de la sonde de la figure 4 sur l'objet à sonder, ainsi que le déplacement d'un point focal de la sonde dans l'objet,
- la figure 7 représente schématiquement la structure générale d'un dispositif de sondage d'un objet comportant une sonde à ultrasons, selon un troisième mode de réalisation de l'invention, et
- la figure 8 illustre un trajet de la sonde de la figure 7 sur l'objet à sonder, ainsi que le déplacement d'un point focal de la sonde dans l'objet.

En référence à la figure 1, un dispositif de sondage 100 d'un objet 102 selon un premier mode de réalisation de l'invention comporte un bras 104, qui est articulé dans l'exemple décrit, une sonde à ultrasons 106 fixée au bras articulé 104 et des moyens 108 de commande du bras articulé 104 conçus pour commander le bras articulé 104 afin que ce dernier déplace la sonde 106 sur une surface de l'objet 102. Les moyens 108 de commande de bras articulé se basent généralement sur un trajet souhaité prédéfini de la sonde 106 par rapport à l'objet 102.

L'objet 102 est par exemple une pièce mécanique que l'on souhaite examiner par contrôle non destructif ou bien, dans un contexte médical, une partie du corps humain que l'on souhaite contrôler de manière non invasive.

En outre, le dispositif de sondage 100 comporte un circuit électronique 112, par exemple celui d'un ordinateur. Ce circuit électronique 112 est connecté à la sonde 106. Il présente une unité centrale de traitement 114, telle qu'un microprocesseur, et une mémoire 116 dans laquelle est enregistré un programme d'ordinateur 118 de commande de la sonde 106 et un programme d'ordinateur 119 de traitement de signaux. Ces programmes 118 et 119 comportent des instructions destinées à être exécutées par l'unité centrale de traitement 114 pour réaliser les fonctions définies par ces instructions.

La sonde 106 comporte tout d'abord un boîtier 110, c'est-à-dire un élément de structure indéformable qui sert de référentiel pour la sonde 106.

La sonde 106 comporte en outre des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ attachés au boîtier 110 et conçus pour émettre des ondes ultrasonores dans l'objet 102 en réponse à des signaux de commande C fournis par le circuit électronique 112. Les transducteurs $120_1 \dots 120_N$ sont en outre conçus pour détecter des échos des ondes ultrasonores se réfléchissant sur et dans l'objet 102 et pour fournir des signaux de mesure M correspondant à ces échos, ces signaux de mesure M étant alors transmis au circuit électronique 112. C'est plus précisément l'unité centrale de traitement 114 qui est conçue pour émettre vers la sonde 106 les signaux de commande C et pour recevoir de la sonde 106 les signaux de mesure M.

Dans la sonde 106 de la figure 1, les transducteurs $120_1 \dots 120_N$ sont attachés de manière mobile au boîtier 110, de sorte qu'ils sont aptes à épouser la surface de l'objet 102 sur laquelle ils se déplacent, même lorsque cette dernière n'est pas plane, comme cela est illustré sur la figure 1.

En outre, le dispositif de sondage 100 comporte des moyens 122 de localisation des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ conçus pour déterminer des positions des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ par rapport au boîtier 110, ces positions étant notées P_{VB} .

Dans le dispositif de sondage 100 de la figure 1, les moyens 122 de localisation des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ comportent des émetteurs $124_1 \dots 124_N$ conçus pour émettre des ondes par exemple électromagnétiques. Chaque émetteur $124_1 \dots 124_N$ est fixé à un transducteur $120_1 \dots 120_N$ respectif. Les moyens 122 de localisation des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ comportent en outre des récepteurs 126 fixés au boîtier 110 et conçus pour détecter les ondes émises par les émetteurs $124_1 \dots 124_N$. Les moyens 122 de localisation des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ comportent en outre des instructions 128 du programme de commande 118 pour déterminer les positions P_{VB} des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ à partir des détections des récepteurs 126, par exemple par triangulation. Les moyens de localisation 122 sont par exemple conformes à ceux décrits en détail dans le brevet FR 2 786 651.

En variante, d'autres moyens de localisation de transducteurs pourraient être utilisés, par exemples ceux également envisagés dans le brevet FR 2 786 651.

Le dispositif de sondage 100 comporte en outre des moyens 130 de localisation du boîtier 110 conçus pour fournir une position du boîtier 110 par rapport à l'objet 102, notée $P_{B/O}$. Dans le dispositif de sondage 100 de la figure 1, les moyens de localisation 130 comportent un capteur de position fixé au boîtier 110 et conçu pour déterminer la position réelle du boîtier 110 par rapport à l'objet 102. Selon une variante dans laquelle le dispositif de sondage 100 comporte un manche (non

représenté) fixé au boîtier 110 à la place ou à l'extrémité du bras articulé 104, le capteur 130 peut être fixé au manche.

En variante, les moyens 130 de localisation du boîtier 110 pourraient être une base de données dans laquelle serait enregistré le trajet souhaité du boîtier 110 par rapport à l'objet 102, par exemple le trajet utilisé par les moyens 108 de commande du bras articulé 104. Dans ce cas, la position $P_{B/O}$ du boîtier 110 serait la position souhaitée du boîtier 110.

Le dispositif de sondage 100 comporte en outre des moyens 132 de mise à jour de paramètres de focalisation, notés $P_{F/B}$, représentant une position souhaitée d'un point focal F par rapport au boîtier 110. Les moyens de mise à jour 132 sont conçus pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à partir, d'une part, d'associations prédéfinies entre des positions sur le trajet souhaité du boîtier 110 et des valeurs correspondantes des paramètres de focalisation, et, d'autre part, de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110.

Dans le dispositif de sondage de la figure 1, le trajet souhaité comporte des segments linéaires de trajet $S^{(i)}$, par exemple disposés bout à bout, et les associations prédéfinies associent des valeurs de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ des paramètres de focalisation respectivement à chaque segment de trajet $S^{(i)}$.

A cet effet, les moyens de mise à jour 132 comportent tout d'abord une base de données 134 enregistrée dans la mémoire 116 et comportant les associations prédéfinies. En outre, les moyens de mise à jour 132 comportent des instructions, appelées instructions de sélection 136, pour fournir une valeur des paramètres de focalisation associée, par les associations prédéfinies, à au moins une position sur le trajet souhaité, à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110.

Plus précisément, dans le dispositif de sondage de la figure 1, les instructions de sélection 136 sont conçues pour, d'une part, sélectionner dans la base de données 134 un des segments de trajet souhaité $S^{(i)}$ à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110, et pour, d'autre part, fournir la valeur de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ associée au segment de trajet $S^{(i)}$ sélectionné. A cet effet, les instructions de sélection 136 sont conçues pour, d'une part, déterminer si la position $P_{B/O}$ du boîtier 110 se trouve dans une sphère d'incertitude autour d'un des segments de trajet $S^{(i)}$, c'est-à-dire à proximité de ce segment de trajet $S^{(i)}$ selon une règle de proximité prédéfinie, et pour, d'autre part, sélectionner ce segment de trajet $S^{(i)}$ et fournir la valeur de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ associée.

En outre, les moyens de mise à jour 132 sont conçus pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à partir de la valeur des paramètres de focalisation fournie par les moyens de sélection 136. Toujours dans le dispositif de sondage 100 de la figure 1, les moyens de mise à jour 132 sont ainsi conçus pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à la valeur de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ fournie par les moyens de sélection 136.

Le programme 118 comporte en outre des instructions 138 de détermination d'une loi de retards R à partir, d'une part, des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ fournis par les moyens de mise à jour 132 et, d'autre part, des positions des transducteurs par rapport au boîtier $P_{1/B}$.

Dans le dispositif de sondage 100 de la figure 1, les instructions 138 de détermination de la loi de retards comportent tout d'abord des instructions 140 pour déterminer les positions, notées $P_{1/O}$, des transducteurs par rapport à l'objet 102 à partir des positions $P_{1/B}$ des transducteurs par rapport au boîtier 110 et de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110 par rapport à l'objet 102 : il s'agit d'un simple changement de repère. Les instructions 138 de détermination de la loi de retards R comportent en outre des instructions 142 pour déterminer des paramètres de focalisation, notés $P_{F/O}$, par rapport à l'objet 102 (les paramètres de focalisation $P_{F/O}$ représentant donc la position souhaitée du point focal F par rapport à l'objet 102) à partir des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ et de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110. Cette opération constitue donc également un simple changement de repère comme cela est connu en soi. Les instructions 138 de détermination de la loi de retards R comportent en outre des instructions 144 pour déterminer la loi de retards R à partir des paramètres de focalisation $P_{B/O}$ par rapport à l'objet 102 et des positions $P_{1/O}$ des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ par rapport à l'objet 102. Cette opération comporte en particulier le calcul de trajets entre les transducteurs $120_1 \dots 120_N$ et la position souhaitée du point focal F , comme cela est connu en soi.

Enfin, le programme 118 comporte des instructions de commande 146 pour déterminer les signaux de commande C destinés aux transducteurs $120_1 \dots 120_N$, à partir de la loi de retards R . Plus précisément, les instructions 146 sont conçues de manière que les signaux de commande C présentent des retards les uns par rapport aux autres définis par la loi de retards R . Ainsi, grâce à ces retards dans les signaux de commande C , les ondes ultrasonores peuvent focaliser au point focal F positionné tel que souhaité.

En référence à la figure 2, un procédé de sondage 200 de l'objet 102 mettant en œuvre le dispositif de sondage 100 va à présent être décrit.

Au cours d'une étape 202, un opérateur configure les moyens de commande 108 du bras articulé 104 afin que ce dernier puisse déplacer la sonde 106 selon le trajet souhaité au contact de l'objet 102.

Au cours d'une étape 204, l'opérateur définit les associations entre des positions sur le trajet souhaité du boîtier 110 et des valeurs correspondantes des paramètres de focalisation. Dans l'exemple décrit, l'opérateur enregistre dans la base de données 134 les associations entre les segments de trajet $S^{(i)}$ du trajet souhaité et les valeurs de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ des paramètres de focalisation.

On remarquera que les étapes 202 et 204 sont de préférences réalisées avant que le dispositif de sondage 100 ne débute le sondage proprement dit de l'objet 102. Par la suite, la sonde 106 se déplace par rapport à l'objet 102.

Au cours d'une étape 206, les moyens de localisation 130 déterminent la position $P_{B/O}$ du boîtier 110.

Au cours d'une étape 208, l'unité centrale de traitement 114 exécutant le programme de commande 118 reçoit la position $P_{B/O}$ du boîtier 110 de la part des moyens de localisation 130.

Au cours d'une étape 210, les moyens de mise à jour 132 mettent à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110. Plus précisément, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 136 fournit, à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110, une valeur des paramètres de focalisation associée, par les associations prédéfinies, à au moins une position sur le trajet souhaité. Les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ sont mis à jour à cette valeur. Dans l'exemple décrit, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions de sélection 136 sélectionne dans la base de données 134 un des segments de trajet $S^{(i)}$ à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110, et fournit la valeur de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ qui y est associée dans la base de données 134.

Au cours d'une étape 212, les moyens 122 de localisation des transducteurs $120_1...120_N$ déterminent les positions $P_{t/B}$ des transducteurs $120_1...120_N$. Plus précisément, cette étape 212 comporte les étapes 214 à 220 suivantes.

Au cours d'une étape 214, les émetteurs $124_1...124_N$ émettent des ondes de localisation.

Au cours d'une étape 216 les récepteurs 126 détectent les ondes de localisation.

Au cours d'une étape 218, l'unité centrale de traitement 114 exécutant le programme 118 reçoit les détections des récepteurs 126.

Au cours d'une étape 220, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 128 détermine les positions $P_{t/B}$ des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ à partir des détections des récepteurs 126.

Au cours d'une étape 222, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 138 détermine la loi de retards R à partir, d'une part, des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ mis à jour par les moyens de mise à jour 132 et, d'autre part, des positions $P_{t/B}$ des transducteurs $120_1 \dots 120_N$. Plus précisément, l'étape 222 comporte les étapes 224 à 228 suivantes.

Au cours d'une étape 224, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 140 détermine les positions $P_{t/O}$ des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ par rapport à l'objet 102 à partir des positions $P_{t/B}$ des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ et de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110.

Au cours d'une étape 226, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 142 détermine des paramètres de focalisation $P_{F/O}$ par rapport à l'objet 102 à partir des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ et de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110.

Au cours d'une étape 228, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 144 détermine la loi de retards R à partir des paramètres de focalisation $P_{F/O}$ par rapport à l'objet 102 et des positions $P_{t/O}$ des transducteurs $120_1 \dots 120_N$ par rapport à l'objet 102.

Au cours d'une étape 230, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 146 provoque la fourniture aux transducteurs $120_1 \dots 120_N$, par le circuit électronique 112, de signaux de commande C présentant, les uns par rapport aux autres, des retards définis par la loi de retards R .

Au cours d'une étape 232, les transducteurs $120_1 \dots 120_N$, en réponse aux signaux de commande C , émettent des ondes ultrasonores dans l'objet 102, qui focalisent en un point focal F ayant la position souhaitée par rapport au boîtier 110, grâce aux retards des signaux de commande C entre eux.

Au cours d'une étape 234, les transducteurs $120_1 \dots 120_N$ reçoivent les échos des ondes ultrasonores qui ont été réfléchies sur et dans l'objet 102, et fournissent au programme de traitement 119 les signaux de mesure M correspondants.

Le procédé 200 retourne alors aux étapes 206 et 212.

En parallèle aux étapes 206 à 212, ou bien à leur suite, après que la sonde 106 a réalisé le trajet prévu, au cours d'une étape 236, l'unité centrale de traitement

114 exécutant les instructions du programme de traitement 119 traite les signaux de mesure M, par exemple dans le but de détecter des défauts de structure dans l'objet 102, en affichant les résultats du traitement sur un écran.

En référence à la figure 3, un exemple d'utilisation du dispositif 100 de la figure 1 va être décrit.

L'objet 102 comporte une face présentant, dans le plan de la figure 3, deux parties horizontales 302, 304 et une partie en biais 306 reliant les deux parties horizontales 302, 304.

Le trajet souhaité pour la sonde, correspondant à la forme connue de la face de l'objet 102, comporte cinq segments de trajets $S^{(1)} \dots S^{(5)}$, chacun associé à une valeur de référence $P_{F/B}^{(1)} \dots P_{F/B}^{(5)}$ respective de paramètres de focalisation. Ces associations sont enregistrées dans la base de données 134.

Le premier segment de trajet $S^{(1)}$ couvre la première partie horizontale 302, de sorte que le point focal F se déplace parallèlement à cette partie horizontale 302, à une profondeur de la partie horizontale 302 définie par la première valeur de référence $P_{F/B}^{(1)}$ associée au premier segment de trajet $S^{(1)}$.

Les trois segments de trajet suivants $S^{(2)} \dots S^{(4)}$ couvrent la partie en biais 306. Le point focal F se déplace parallèlement à la partie en biais 306 mais en étant ramené, au début de chaque segment de trajet $S^{(2)} \dots S^{(4)}$, dans la continuité de son déplacement pour la première partie droite 302. Ceci est obtenu en choisissant des valeurs de référence $P_{F/B}^{(2)} \dots P_{F/B}^{(4)}$ définissant des positions du point focal F à des profondeurs croissantes et avec un angle adapté à la partie en biais 306.

Le cinquième segment de trajet $S^{(5)}$ couvre la seconde partie droite 304. Le point focal F se déplace parallèlement à cette partie horizontale 304, à une profondeur de la partie horizontale 304 définie par la cinquième valeur de référence $P_{F/B}^{(5)}$, de manière que le point focal F se déplace dans la continuité de son déplacement pour la première partie horizontale 302.

Ainsi, le point focal F se déplace relativement linéairement lorsque la sonde 106 se déplace sur la face de l'objet 102, malgré le fait que la surface de l'objet 102 n'est pas une ligne uniquement horizontale. Selon ce mode de réalisation, on comprend que l'on améliore la linéarité du déplacement du point focal F dans l'objet 102 en augmentant le nombre de segments associés à des paramètres de focalisation dans les parties du trajet souhaité qui ne sont pas parallèles au déplacement souhaité du point focal F. En particulier, dans l'exemple de la figure 3, plus le nombre de segments couvrant la partie en biais 306 est important (ici trois),

plus le trajet effectivement suivi par le point focal F dans l'objet 102 est proche du trajet rectiligne horizontal idéalement souhaité.

En référence à la figure 4, un dispositif de sondage 400 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention comporte les mêmes éléments que le dispositif de la figure 1, pour lesquels les mêmes références sont utilisées, sauf pour les éléments qui vont à présent être décrits. Selon ce deuxième mode de réalisation, le dispositif de sondage 400 est conçu pour prendre en compte un écart entre une position et/ou une orientation réelle du boîtier 110, d'une part, et une position et/ou une orientation souhaitée sur le trajet souhaité, d'autre part, dans la mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$.

Ainsi, dans le dispositif de sondage 400 de la figure 4, les moyens de localisation 130 sont non seulement conçus pour fournir une position $P_{B/O}$ du boîtier par rapport à l'objet 102, mais en outre conçus pour fournir une orientation $O_{B/O}$ du boîtier 110 par rapport à l'objet 102.

Par ailleurs, les moyens de mise à jour 132 comportent toujours la base de données 134, mais cette dernière comporte en outre à présent des informations de mouvement souhaité, notées IM, définissant un mouvement souhaité du boîtier 110 par rapport à l'objet 102. Les informations de mouvement souhaité IM comportent en particulier des informations de trajet souhaité définissant le trajet souhaité du boîtier 110 par rapport à l'objet 102, et des informations d'orientation souhaitée définissant l'orientation souhaitée du boîtier 110 par rapport à l'objet 102 le long du trajet souhaité. Dans le dispositif de la figure 4, les informations de trajet souhaité comportent les segments de trajet $S^{(i)}$ des associations prédéfinies.

Les instructions de sélection 136 comportent en outre des instructions 402, appelée instructions de recalage 402, pour déterminer une position recalée du boîtier 110 par rapport à l'objet 102 sur le trajet souhaité, cette position recalée étant notée $P_{\underline{B}/O}$. La position recalée $P_{\underline{B}/O}$ est déterminée à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110, fournie par les moyens de localisation 130, et des informations de trajet souhaité de la base de données 134. Par exemple, la position recalée est le point du trajet souhaité le plus proche de la position du boîtier par rapport à l'objet $P_{B/O}$. Les instructions de recalage 402 sont en outre conçues pour déterminer une orientation recalée, notée $O_{\underline{B}/O}$, du boîtier 110 sur l'orientation souhaitée du boîtier 110, à partir de l'orientation $O_{B/O}$ du boîtier 110 et des informations d'orientation souhaitée de la base de données 134.

Dans le dispositif de sondage 400 de la figure 4, les instructions de sélection 136 comportent en outre des instructions, appelées instructions de sélection 404, pour sélectionner un des segments de trajet $S^{(i)}$ à partir de la position non recalée $P_{B/O}$ et des informations de trajet souhaité de la base de données 134. Par ailleurs, les instructions de sélection 136 sont conçues pour fournir la valeur de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ associée au segment de trajet $S^{(i)}$ sélectionné.

Les moyens de mise à jour 132 comportent en outre des instructions du programme de commande 118, appelées instructions de détermination d'écart 406, pour déterminer l'écart de position $P_{B/B}$ entre la position $P_{B/O}$ du boîtier 110 et la position recalée $P_{B/O}$ du boîtier 110, ainsi que l'écart d'orientation, noté $O_{B/B}$, entre l'orientation $O_{B/O}$ du boîtier 110 et son orientation recalée $O_{B/O}$.

Les moyens de mise à jour 132 comportent en outre des instructions du programme de commande 118, appelées instructions de correction 408, pour corriger la valeur des paramètres de focalisation fournie par les instructions de sélection 136 à partir de l'écart de position $P_{B/B}$ et de l'écart d'orientation $O_{B/B}$. Dans l'exemple décrit, la valeur des paramètres de focalisation fournie par les instructions de sélection 136 est, comme expliqué précédemment, l'une des valeurs de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ de la base de données 134.

Les moyens de mise à jour 132 sont ainsi conçus pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à la valeur des paramètres de focalisation corrigée par les instructions de correction 408.

Les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ ainsi mis à jour permettent de positionner le point focal F au même endroit que si le boîtier 110 avait sa position souhaitée et son orientation souhaitée.

En référence à la figure 5, un procédé de sondage 500 de l'objet 102 mettant en œuvre le dispositif de sondage 400 comporte les mêmes étapes que le procédé 200 de la figure 2, sauf pour l'étape 210 qui comporte à présent les étapes suivantes pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ en fonction de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110 et de son orientation $O_{B/O}$.

Au cours d'une étape 502, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 402 détermine la position recalée $P_{B/O}$ et l'orientation recalée $O_{B/O}$ du boîtier 110, à partir des informations de mouvement souhaité IM de la base de données 134, de la position $P_{B/O}$ du boîtier 110 et de son orientation $O_{B/O}$.

Au cours d'une étape 504, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 404 sélectionne, dans la base de données 134, un segment de trajet $S^{(i)}$

à partir de la position non recalée $P_{B/O}$ du boîtier 110, et fournit la valeur de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ des paramètres de focalisation associée à ce segment de trajet $S^{(i)}$.

Parallèlement à l'étape 504, au cours d'une étape 506, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 406 détermine l'écart de position $P_{B/B}$ et l'écart d'orientation $O_{B/B}$.

Au cours d'une étape 506, l'unité centrale de traitement 114 exécutant les instructions 408 corrige la valeur de référence des paramètres de focalisation à partir des écarts de position $P_{B/B}$ et d'orientation $O_{B/B}$. Cette valeur corrigée constitue alors les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ mis à jour.

En référence à la figure 6, un exemple similaire à celui de la figure 3 va être décrit, afin d'illustrer la correction d'une erreur de positionnement. L'homme du métier pourra aisément adapter cet exemple à une correction d'orientation.

La sonde 106 est destinée à suivre le trajet souhaité constitué des cinq segments de trajet $S^{(1)}...S^{(5)}$ (le segment de trajet $S^{(5)}$ étant représenté en trait interrompu mixte sur cette figure). Sur la partie 304 de l'objet 102, la sonde 106 a dévié du trajet souhaité d'un écart représenté par $P_{B/B}$ compte tenu du fait que la face réelle de l'objet 102 sur laquelle elle se déplace ne correspond pas exactement au trajet souhaité enregistré dans la base de données 134.

Cet écart peut provenir du fait que les pièces admettent des tolérances d'usinage qui peuvent être supérieures aux précisions nécessaires pour le sondage ou d'une erreur de positionnement de la pièce. En outre, la sonde 106 est susceptible de ne pas suivre exactement la surface souhaitée. En l'absence de correction, ces écarts se traduiraient par une mauvaise focalisation du faisceau d'ondes ultrasonores dans la zone souhaitée car les retards calculés ne seraient pas adaptés aux points focaux souhaités.

Dans la présente invention, grâce à la correction d'écart prévue dans les instructions 138, le point focal F n'est cependant pas affecté par l'erreur de positionnement de la sonde 106. Cette solution de correction se substitue avantageusement à une correction mécanique, sur le bras articulé 104 par exemple.

En référence à la figure 7, un dispositif de sondage 700 selon un troisième mode de réalisation de l'invention comporte les mêmes éléments que le dispositif de la figure 4, pour lesquels les mêmes références sont utilisées, sauf pour les éléments qui vont à présent être décrits. Comme dans le deuxième mode de réalisation, le dispositif de sondage 700 est conçu pour prendre en compte un écart entre une position et/ou une orientation réelle du boîtier 110, d'une part, et une position et/ou

une orientation souhaitée sur le trajet souhaité, d'autre part, dans la mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$. En revanche, contrairement aux premier et deuxième modes de réalisation, les segments de trajet souhaité $S^{(i)}$ ne sont pas associés directement à des paramètres de focalisation $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ déjà calculés mais à des paramètres d'une opération de recalage donnant, par le calcul, une valeur des paramètres de focalisation à partir de chaque position sur le trajet souhaité. Selon ce mode de réalisation, on comprend que l'on améliore la précision du déplacement du point focal F dans l'objet 102 sans avoir besoin d'augmenter le nombre de segments $S^{(i)}$ dans les parties du trajet souhaité qui ne sont pas parallèles au déplacement souhaité du point focal F. En particulier, dans l'exemple de la figure 8 qui illustre le trajet bidimensionnel 302, 306, 304 de la sonde du dispositif 700, un seul segment peut désormais couvrir la partie en biais 306 puisque la correspondance (i.e. le changement de repère) entre la partie 306 et la trajectoire idéalement suivie par le point focal F peut être complètement déterminée à l'aide d'une opération de recalage définie par une application affine.

Dans la suite de la description, pour simplifier les notations, seules les coordonnées bidimensionnelles dans le plan des figures seront utilisées, l'homme du métier pouvant aisément adapter l'enseignement qui suit aux trois dimensions. Ainsi, les paramètres de focalisation $P_{F/B}$, c'est-à-dire les coordonnées successives du point de focalisation F par rapport au boîtier 110, peuvent chacun être représentés par une profondeur P par rapport au boîtier 110 et un angle α représentant l'orientation du boîtier 110 par rapport à une direction prédéterminée, par exemple la verticale. Comme dans les exemples précédents, le trajet souhaité comporte des segments linéaires de trajet $S^{(i)}$, par exemple disposés bout à bout. Dans la base de données 134, des informations de focalisation sont associées à chaque segment. Dans le dispositif de sondage 700, les informations de focalisation associées à un segment de trajet $S^{(i)}$ comportent des paramètres d'une opération de recalage permettant de calculer une valeur des paramètres de focalisation à partir de chaque position sur ce segment de trajet $S^{(i)}$, notamment des paramètres d'une application affine tels qu'une profondeur $P(i)$ et un angle $\alpha(i)$. L'angle $\alpha(i)$ représente la pente du segment et permet, d'une part, de définir la direction dans laquelle se trouve le point focal F par rapport au boîtier 110 et, d'autre part, de corriger la profondeur $P(i)$ lorsque le boîtier se déplace le long du segment $S^{(i)}$, comme cela sera expliqué par la suite.

Ainsi, dans le dispositif de sondage 700 de la figure 7, les instructions de sélection 404 sont remplacées par des instructions 702 et 704.

Les instructions 702 sont conçues pour sélectionner un des segments de trajet $S^{(i)}$ enregistrés dans la base de données à partir de la position non recalée $P_{B/O}$. Par ailleurs, les instructions 702 sont conçues pour fournir les informations de focalisation associées au segment de trajet $S^{(i)}$ sélectionné, c'est-à-dire, dans l'exemple décrit, la profondeur $P(i)$ et l'angle $\alpha(i)$ associés au segment de trajet $S^{(i)}$ sélectionné.

Les instructions 704 sont conçues pour calculer, au moyen d'une formule mathématique de recalage, en l'occurrence une application mathématique affine définie par $P(i)$ et $\alpha(i)$, la position $P_{F/B}$ du point focal F à partir de la position recalée $P_{B/O}$ du boîtier 110 sur le segment de trajet $S^{(i)}$ sélectionné. Dans le dispositif de sondage 700, la formule donnant la position $P_{F/B}$ du point focal F correspondant à une position s sur le trajet $S^{(i)}$ est : $P_{F/B} = P(i) + s \cdot \sin \alpha(i)$.

Ainsi, dans le dispositif de sondage 700, les associations prédéfinies comportent l'ensemble constitué, d'une part, des informations de focalisation enregistrées dans la base de données 134 ($P(i)$ et $\alpha(i)$) et, d'autre part, d'une application mathématique elle-même définie par ces informations de focalisation, ces deux éléments associant des paramètres de focalisation à chaque position du boîtier sur son trajet.

En référence à la figure 8, un exemple d'utilisation du dispositif 700 de la figure 7 va être décrit.

L'objet 102 comporte une face présentant, dans le plan de la figure 7, deux parties horizontales 302, 304 et une partie en biais 306 reliant les deux parties horizontales 302, 304. Le point focal F doit, lui, suivre une trajectoire rectiligne à profondeur constante dans l'objet 102, soit à une distance P_A de la partie horizontale 302 et à une distance P_B de la partie horizontale 304.

Le trajet souhaité comporte trois segments de trajets $S^{(1)} \dots S^{(3)}$, définis pour couvrir chacun respectivement les parties 302, 306 et 304, chacun associé à des informations de focalisation $\{P(1) ; \alpha(1)\} \dots \{P(3) ; \alpha(3)\}$ respectives valant :

$$\{P(1) ; \alpha(1)\} = \{P_A ; 0\},$$

$$\{P(2) ; \alpha(2)\} = \{P_A ; \alpha\}, \text{ et}$$

$$\{P(3) ; \alpha(3)\} = \{P_B ; 0\}.$$

Concrètement, les paramètres $P(i)$, $\alpha(i)$ permettent de réaliser le changement de repère entre le trajet souhaité défini par les trois segments $S^{(1)} \dots S^{(3)}$ et la trajectoire rectiligne horizontale qui doit être suivie par le point focal F.

Ainsi, le premier segment de trajet $S^{(1)}$ couvre la première partie horizontale 302, parallèle et située à la distance P_A de la trajectoire de focalisation. Les instructions 704 calculent la position du point focal par rapport au boîtier. Comme l'angle $\alpha(1)$ est nul, cela signifie qu'il n'y a pas de correction à apporter à la profondeur $P(1) = P_A$ et donc que le point focal reste à profondeur constante P_A et se déplace parallèlement à la première partie horizontale 302.

Le segment de trajet suivant $S^{(2)}$ couvre la partie en biais 306. Les instructions 704 calculent la position du point focal par rapport au boîtier. Comme l'angle $\alpha(2) = \alpha$ n'est pas nul, à chaque position s du boîtier 110 sur le segment $S^{(2)}$ les instructions 704 fournissent la position calculée au moyen de la formule $P_{F/B} = P(2) + s \cdot \sin \alpha(2) = P_A + s \cdot \sin \alpha$ afin de corriger la pente de la partie 306. Ainsi, le point focal F se déplace linéairement et horizontalement dans la continuité de son déplacement parallèlement au premier segment $S^{(1)}$.

Le troisième segment de trajet $S^{(3)}$ couvre la partie horizontale 304, parallèle et située à la distance P_B de la trajectoire de focalisation. Les instructions 704 calculent la position du point focal par rapport au boîtier. Comme l'angle $\alpha(3)$ est nul, cela signifie qu'il n'y a pas de correction à apporter à la profondeur $P(3) = P_B$ et donc que le point focal F reste à profondeur constante et se déplace parallèlement à la partie horizontale 304 à la distance P_B de cette dernière dans la continuité de ses déplacements précédents.

Ainsi, grâce aux informations de focalisation $\{P(1) ; \alpha(1)\} \dots \{P(3) ; \alpha(3)\}$ qui comportent en fait des paramètres de changement de repères associés aux segments de trajet prédéfinis $S^{(1)} \dots S^{(3)}$, le point focal F se déplace linéairement et horizontalement lorsque la sonde 106 se déplace sur la surface de l'objet 102, malgré le fait que la surface de l'objet 102 n'est pas une ligne uniquement horizontale.

On note que dans l'exemple de la figure 8, la sonde 106 se déplace effectivement sur le trajet souhaité tel que prévu dans la base de données 134. Mais comme dans le deuxième mode de réalisation et comme cela a été précisé précédemment, le dispositif de sondage 700 est conçu pour prendre en compte un écart entre une position et/ou une orientation réelle du boîtier 110, d'une part, et une position et/ou une orientation souhaitée sur le trajet souhaité, d'autre part, dans la mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$. Ainsi, si la sonde 106 déviait comme dans la partie 304 de la figure 6 par rapport au trajet souhaité, cet écart pourrait être mesuré et calculé à l'aide des moyens de localisation 130 et des instructions de

détermination d'écart 406, pour être ensuite pris en compte dans la mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ par les instructions de correction 408.

Par ailleurs et avantageusement, les paramètres de correction utilisés par les instructions de correction 408 peuvent être de même nature que les informations de focalisation enregistrées dans la base de données 134 et exploitées par les instructions 702 et 704. Dans l'exemple précédemment détaillé du troisième mode de réalisation, les informations de focalisation sont des paramètres de distance $P(i)$ et d'angle $\alpha(i)$ qui sont effectivement de même nature respectivement que les paramètres de correction $P_{B/B}$ (écart de position) et $O_{B/B}$ (écart d'orientation) fournis par les instructions de détermination d'écart 406 aux instructions de correction 408. Ainsi, la correction apportée par les instructions de correction 408 peut revenir à simplement corriger les informations de focalisation $P(i)$ et $\alpha(i)$ enregistrées dans la base de données 134 à l'aide des valeurs $P_{B/B}$ et $O_{B/B}$ mesurées en utilisant la même formule de recalage (application affine) que celle décrite précédemment.

La contribution respective des informations de focalisation (pré-enregistrées dans la base de données 134) et des paramètres de correction (mesurés à l'aide des moyens de localisation 130) peut même dans ce troisième mode de réalisation être modulée à volonté, la correction réalisée par les instructions 408 pouvant compenser des imprécisions ou insuffisances sur les données pré-enregistrées. Il n'est ainsi pas nécessaire d'avoir une connaissance a priori très précise de la forme de l'objet 102 puisque la correction d'écart prévue dans les instructions 408 se fait automatiquement sans nécessiter de recours à une correction mécanique.

A l'extrême, la forme réelle non plane de l'objet 102 pourrait même ne pas être prise en compte du tout dans la base de données 134, le trajet souhaité étant alors enregistré comme rectiligne et horizontal et toujours parallèle à la trajectoire que doit suivre le point de focalisation F dans l'objet 102. Dans ce cas, en prenant comme référence la partie horizontale 302, le déplacement de la sonde 106 sur les parties 306 et 304 serait considéré par le dispositif de sondage 700 comme un écart par rapport au trajet souhaité (qui est alors une droite horizontale prolongeant la partie 302) et serait complètement traité comme tel par les instructions de correction 408 pour lesquelles les valeurs $P_{B/B}$ et $O_{B/B}$ contribueraient complètement à l'opération de recalage définie par la formule mathématique affine de mise à jour des paramètres de focalisation.

Il apparaît clairement qu'un dispositif de sondage à ultrasons tel que ceux décrits précédemment permet de prévoir une trajectoire du point focal indépendante de la surface de l'objet, et ainsi effectuer des contrôles de l'objet complexes.

On notera par ailleurs que l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits précédemment.

En particulier, les instructions de programme d'ordinateur pourraient être remplacées par des circuits électroniques conçus pour réaliser les mêmes fonctions.

En outre, les positions et orientations décrites précédemment pourraient être exprimées de manière indirecte en passant par un référentiel extérieur au système par exemple lié à un bâti supposé fixe. Par exemple, la position $P_{B/O}$ du boîtier 110 par rapport à l'objet 102 pourrait être exprimée par les deux positions suivantes : la position du boîtier 110 par rapport au référentiel extérieur et la position de l'objet 102 par rapport au référentiel extérieur.

En outre, des segments de trajet non linéaires pourraient être utilisés.

En outre, les paramètres de focalisation peuvent être exprimés par rapport au boîtier comme décrit précédemment, ou bien par rapport à l'objet à sonder. Dans ce dernier cas, la position du boîtier par rapport à l'objet est utilisée pour retrouver la position du point focal par rapport au boîtier.

En outre, plutôt que des valeurs discrètes de paramètres de focalisation associées à des segments de trajets, les associations prédéfinies pourraient comporter une fonction continue donnant la valeur des paramètres de focalisation en fonction de la position de boîtier. Par exemple, dans le cas de la figure 3, cette fonction pourrait être une fonction affine définissant des positions du point focal F à des profondeurs croissantes dans le repère du boîtier et constantes dans le repère de l'objet, en présentant un angle adapté à la partie en biais. Ainsi, le déplacement du point focal resterait horizontal sur les trois parties de l'objet, et en particulier le long de la partie en biais.

Enfin, il apparaîtra en effet à l'homme de l'art que diverses modifications peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus, à la lumière de l'enseignement qui vient de lui être divulgué. Dans les revendications qui suivent, les termes utilisés ne doivent pas être interprétés comme limitant les revendications aux modes de réalisation exposés dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents que les revendications visent à couvrir du fait de leur formulation et dont la prévision est à la portée de l'homme de l'art en

appliquant ses connaissances générales à la mise en œuvre de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de sondage à ultrasons comportant :

- un boîtier (110),
- des moyens de localisation (130) conçus pour fournir une position $P_{B/O}$ du boîtier (110) par rapport à un référentiel lié à un objet à sonder (102),
- des moyens (114, 138) de détermination d'une loi de retards à partir de paramètres de focalisation, notés $P_{F/B}$, représentant une position souhaitée d'un point focal par rapport à un référentiel lié au boîtier (110),
- des moyens de commande (114, 146) conçus pour fournir des signaux de commande à partir de la loi de retards,
- des transducteurs ($120_1 \dots 120_N$) attachés au boîtier (110), conçus pour recevoir les signaux de commande et pour, en réponse, émettre dans l'objet (102) des ondes ultrasonores retardées les unes par rapport aux autres suivant la loi de retards de manière qu'elles focalisent au point focal défini par les paramètres de focalisation $P_{F/B}$,

caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens (132) de mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à partir, d'une part, d'associations prédéfinies entre des positions sur un trajet souhaité du boîtier (110) par rapport au référentiel lié à l'objet (102) et des valeurs correspondantes des paramètres de focalisation, et, d'autre part, de la position $P_{B/O}$ du boîtier (110).

2. Dispositif de sondage à ultrasons selon la revendication 1, dans lequel les moyens de localisation (130) du boîtier (110) comportent un capteur conçu pour mesurer la position $P_{B/O}$ du boîtier (110).

3. Dispositif de sondage à ultrasons selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les moyens de mise à jour (132) comportent des moyens de sélection (114, 136) conçus pour fournir une valeur des paramètres de focalisation associée, par les associations prédéfinies, à au moins une position sur le trajet souhaité, à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier (110).

4. Dispositif de sondage à ultrasons selon la revendication 3, dans lequel les moyens de mise à jour (132) sont conçus pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à la valeur des paramètres de focalisation fournie par les moyens de sélection (114, 136).

5. Dispositif de sondage à ultrasons selon la revendication 3, dans lequel les moyens de mise à jour (132) comportent en outre :

- des moyens de recalage (114, 402) conçus pour déterminer une position du boîtier (110) par rapport au référentiel lié à l'objet (102) recalée sur le trajet souhaité à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier (110), cette position recalée étant notée $P_{\underline{B}/O}$, et/ou une orientation du boîtier (110) recalée sur une orientation souhaitée du boîtier (110) à partir de l'orientation $O_{B/O}$ du boîtier (110), cette orientation recalée étant notée $O_{\underline{B}/O}$,
- des moyens de détermination d'écart (114, 406) conçus pour déterminer un écart de position, noté $P_{\underline{B}/B}$, entre la position $P_{B/O}$ du boîtier (110) et la position recalée $P_{\underline{B}/O}$, et/ou un écart d'orientation, noté $O_{\underline{B}/B}$, entre l'orientation $O_{B/O}$ du boîtier (110) et l'orientation recalée $O_{\underline{B}/O}$,
- des moyens de correction (114, 408) conçus pour corriger la valeur des paramètres de focalisation fournie par les moyens de sélection (136) à partir de l'écart de position $P_{\underline{B}/B}$ et/ou de l'écart d'orientation $O_{\underline{B}/B}$,

et dans lequel les moyens de mise à jour (132) sont conçus pour mettre à jour les paramètres de focalisation $P_{F/B}$ à la valeur corrigée des paramètres de focalisation fournie par les moyens de correction (114, 408).

6. Dispositif de sondage à ultrasons selon l'une des revendications 3 à 5, dans lequel :

- le trajet souhaité comportant des segments de trajet $S^{(i)}$, les associations prédéfinies associent des valeurs de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ des paramètres de focalisation respectivement à chaque segment de trajet $S^{(i)}$,
- les moyens de sélection (114, 136) sont conçus pour sélectionner un des segments de trajet $S^{(i)}$ à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier (110) et pour fournir la valeur de référence $P_{ref}^{(i)}_{F/B}$ associée au segment de trajet $S^{(i)}$ sélectionné.

7. Dispositif de sondage à ultrasons selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans lequel les associations prédéfinies comportent des paramètres d'une opération de recalage donnant une valeur des paramètres de focalisation à partir d'une position sur le trajet souhaité et dans lequel les moyens de

sélections (114, 136) comportent des moyens (114, 704) conçus pour calculer, au moyen des paramètres de l'opération de recalage, la valeur des paramètres de focalisation à partir d'une position sur le trajet souhaité déterminée à partir de la position $P_{B/O}$ du boîtier (110).

8. Dispositif de sondage à ultrasons selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel les transducteurs ($120_1...120_N$) sont attachés de manière mobile au boîtier (110), comportant des moyens (122) de localisation des transducteurs ($120_1...120_N$) conçus pour déterminer des positions $P_{V/B}$ des transducteurs ($120_1...120_N$) par rapport à un référentiel lié au boîtier (110), et dans lequel les moyens (114, 138) de détermination de la loi de retards sont conçus pour déterminer la loi de retards à partir en outre de ces positions $P_{V/B}$ des transducteurs ($120_1...120_N$).

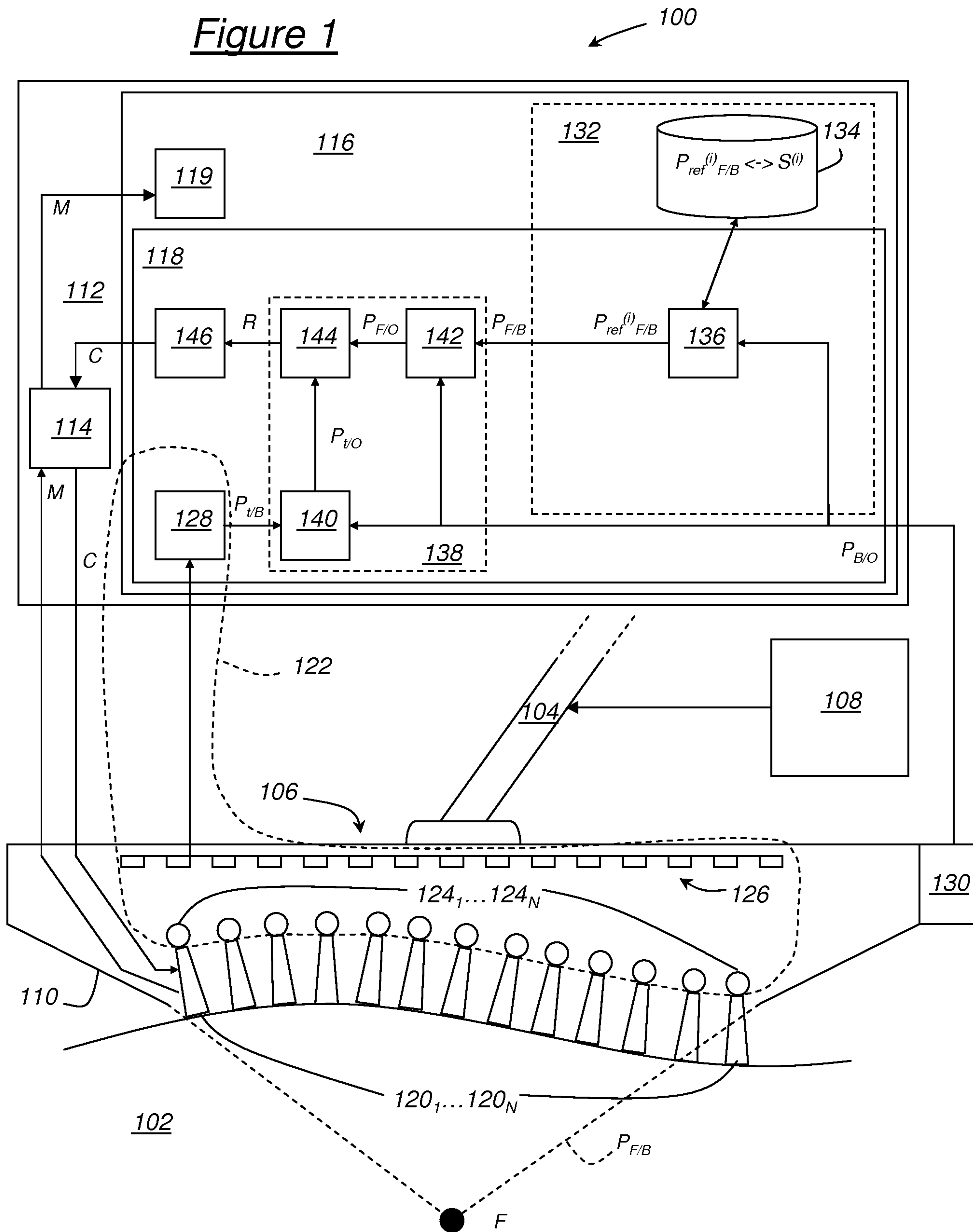
9. Procédé de commande de transducteurs ($120_1...120_N$) d'une sonde à ultrasons, comportant les étapes suivantes :

- recevoir (208) une position $P_{B/O}$ d'un boîtier (110) de la sonde par rapport à un référentiel lié à un objet à sonder (102), les transducteurs ($120_1...120_N$) étant attachés à ce boîtier (110),
- déterminer (222) une loi de retards à partir de paramètres de focalisation, notés $P_{F/B}$, représentant une position souhaitée d'un point focal par rapport à un référentiel lié au boîtier (110)
- fournir (230) des signaux de commande aux transducteurs ($120_1...120_N$) à partir de la loi de retards,

caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape (210) de mise à jour des paramètres de focalisation $P_{F/B}$, à partir, d'une part, d'associations prédéfinies entre des positions sur un trajet souhaité du boîtier (110) par rapport au référentiel lié à l'objet (102) et des valeurs correspondantes des paramètres de focalisation et, d'autre part, de la position $P_{B/O}$ du boîtier (110).

10. Programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou enregistré sur un support lisible par ordinateur et/ou exécutable par un processeur, caractérisé en ce qu'il comprend des instructions pour la mise en œuvre d'un procédé de commande de transducteurs d'une sonde à ultrasons selon la revendication 9, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

Figure 1



2/5

Figure 2

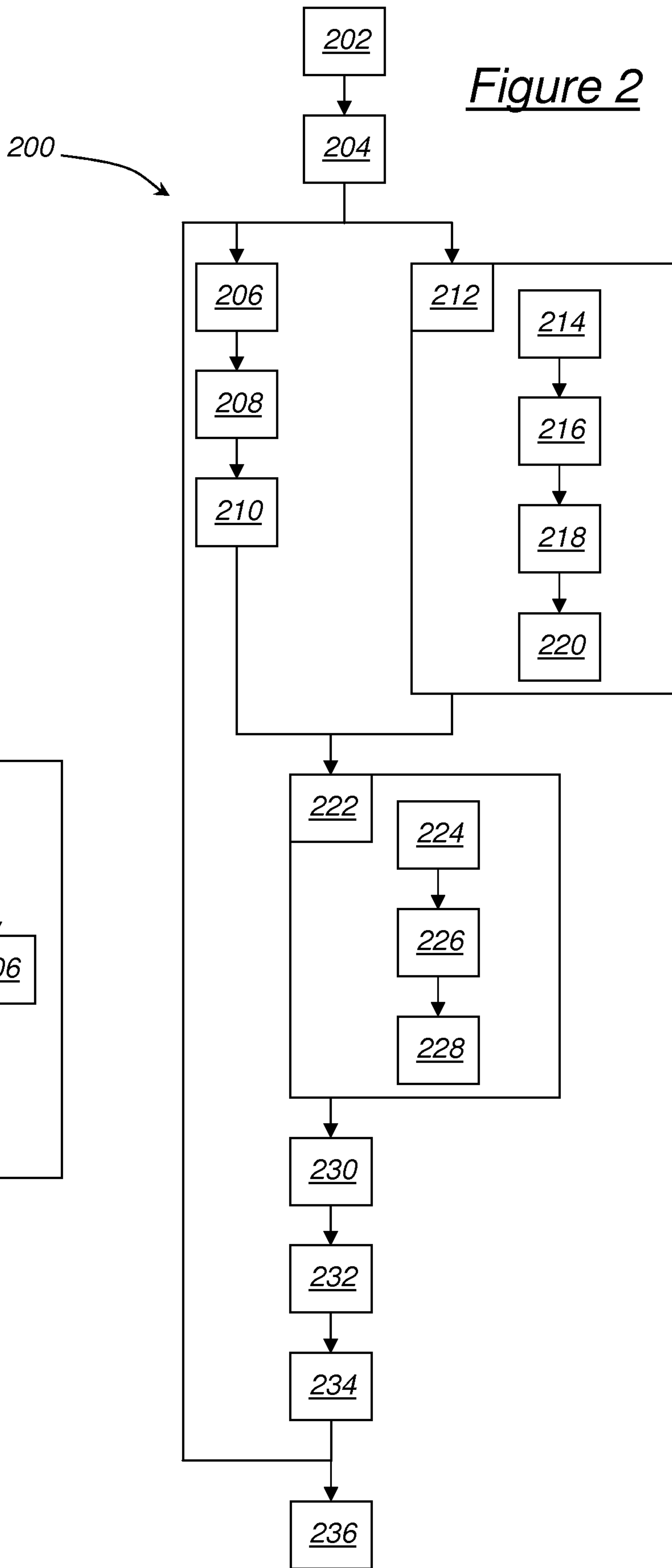


Figure 5

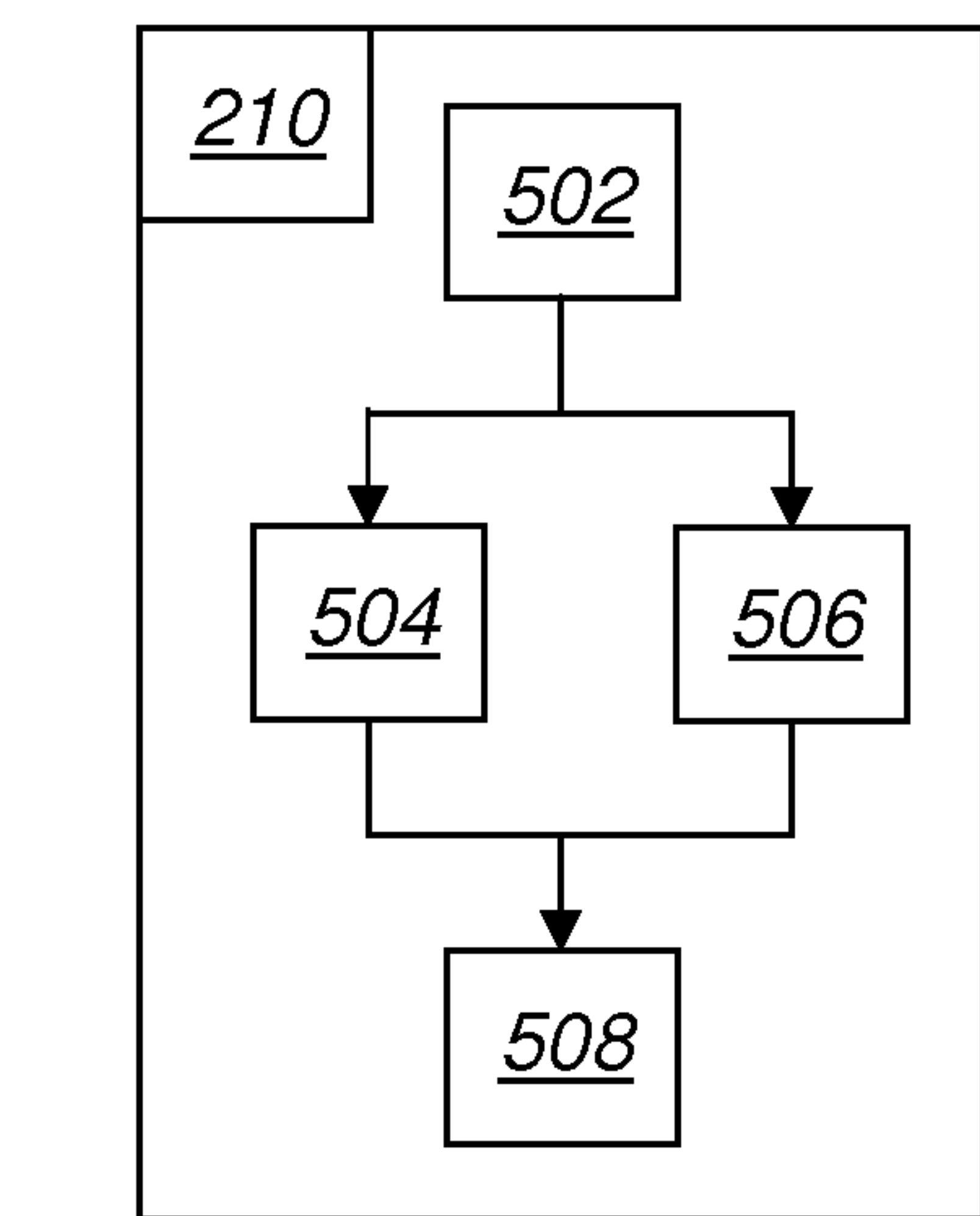


Figure 3

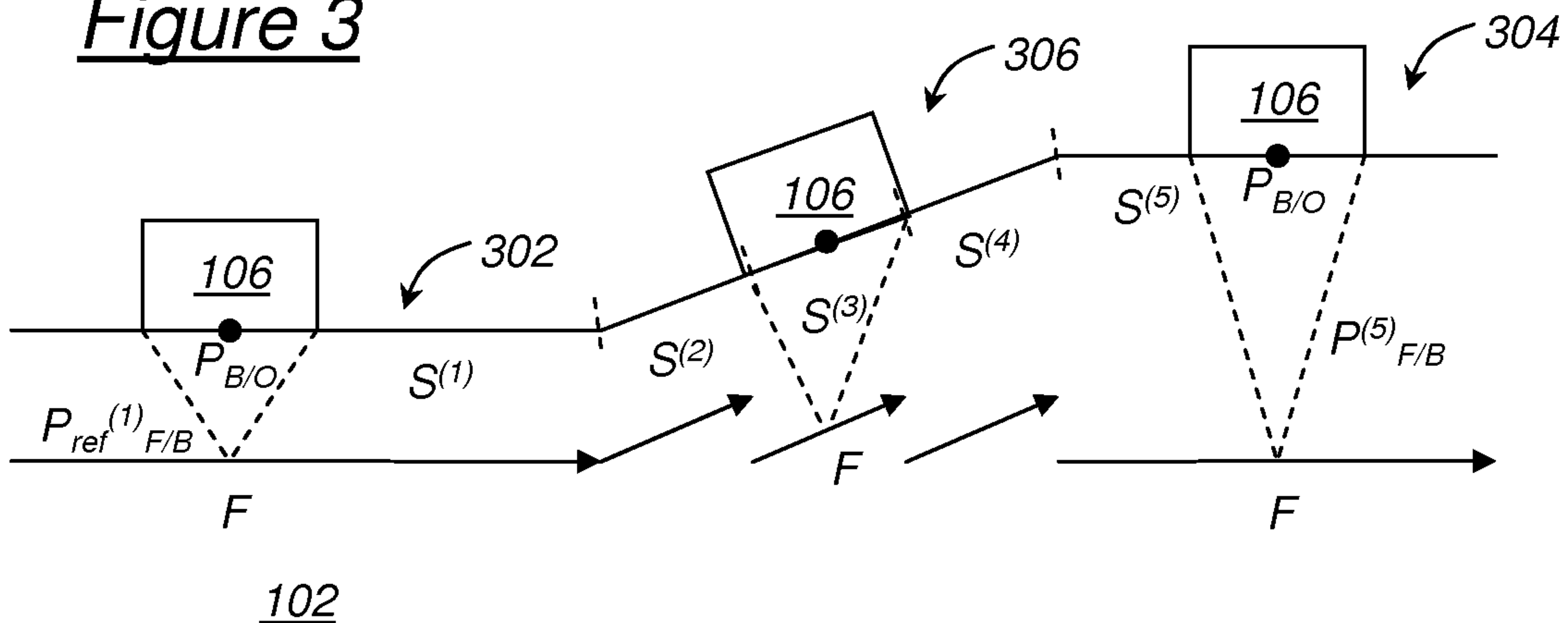


Figure 6

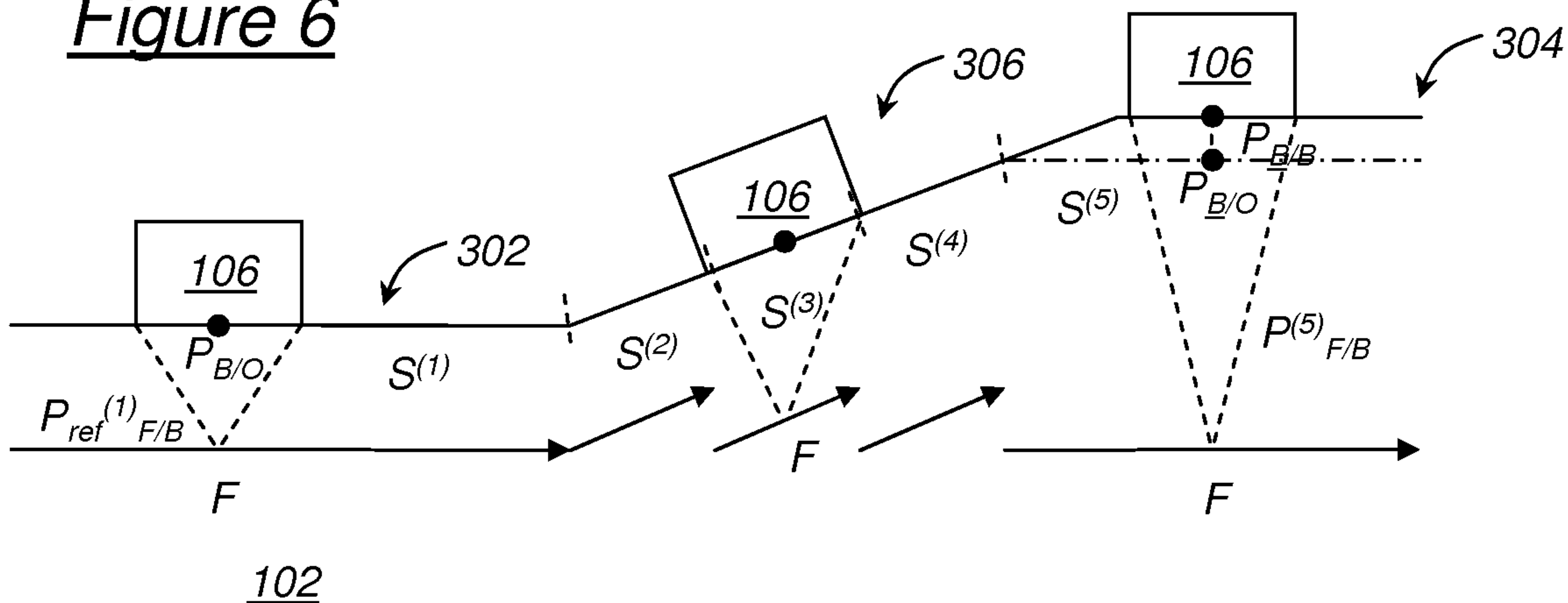


Figure 8

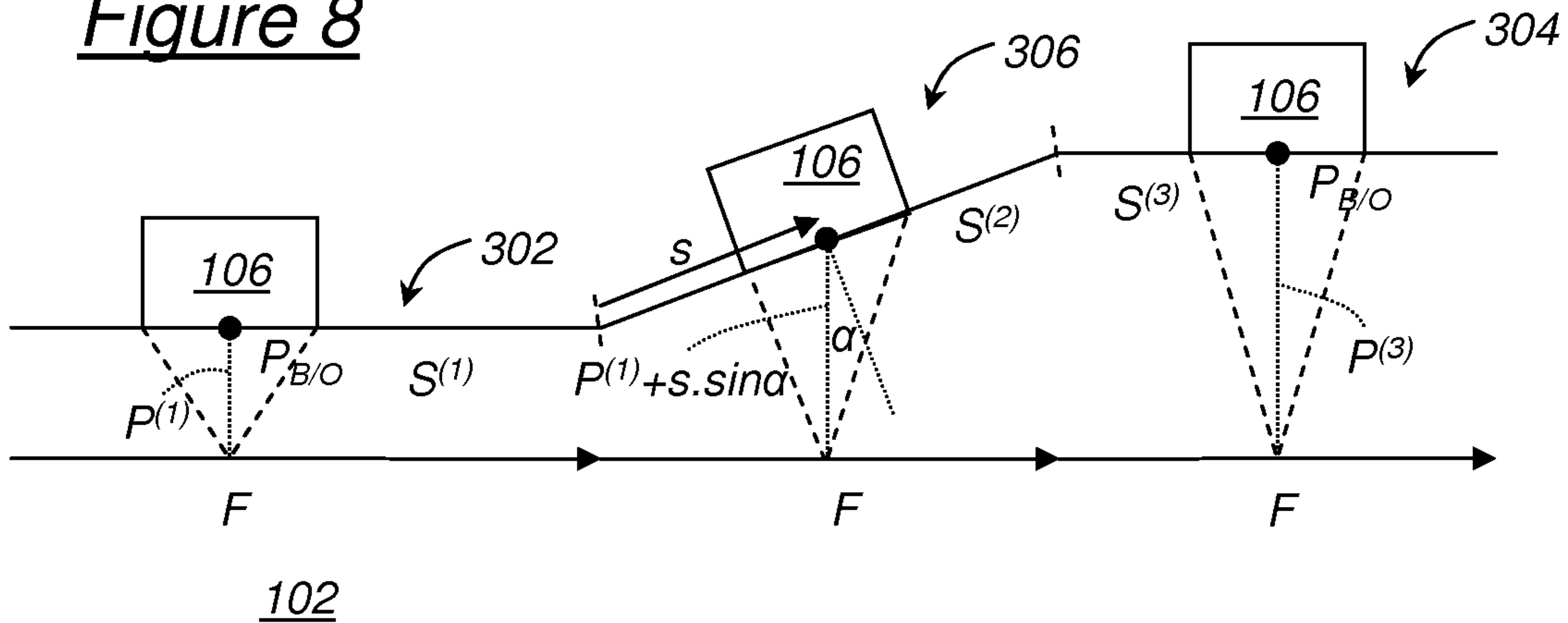


Figure 4

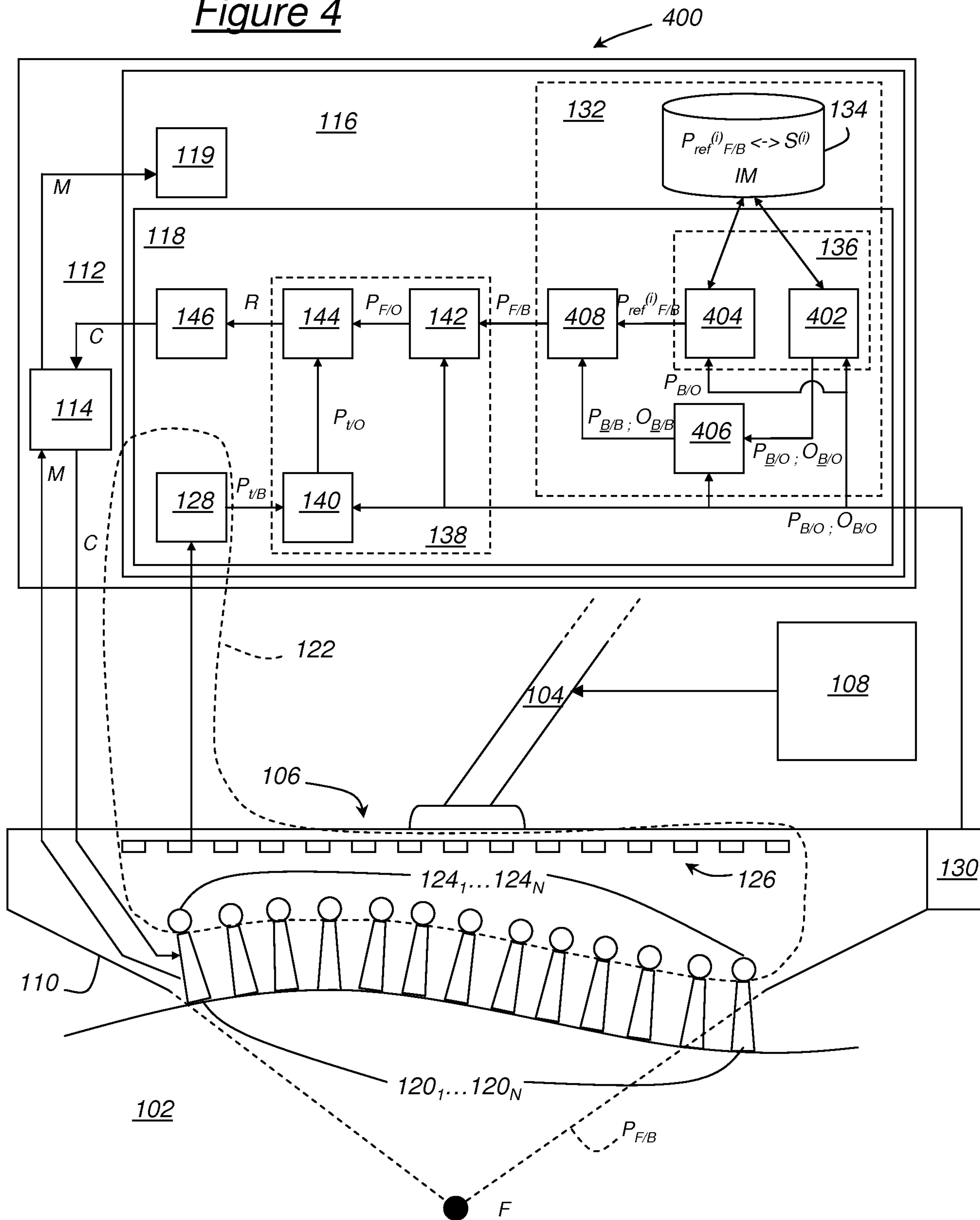


Figure 7

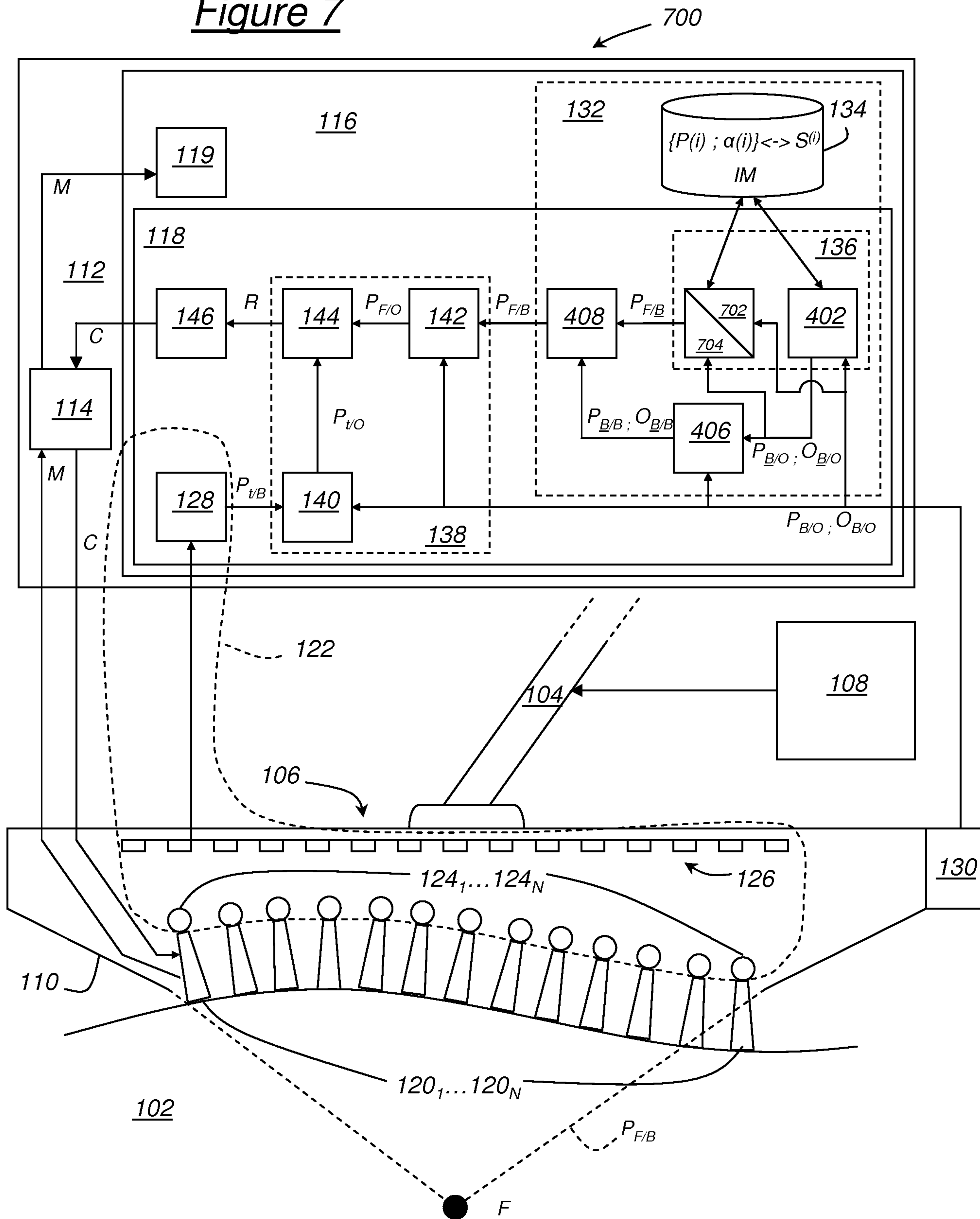


Figure 7

