

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 18.04.97.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.10.98 Bulletin 98/43.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : DORY JACQUES — FR.

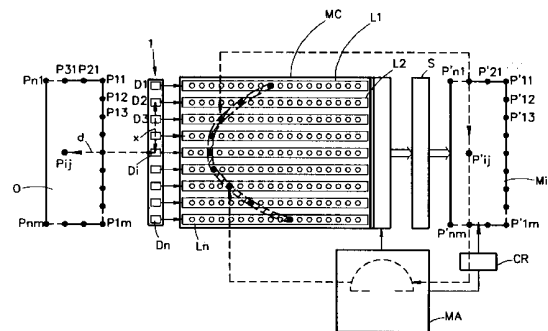
72) Inventeur(s) : DORY JACQUES.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET MOUTARD.

54) PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR LE TRAITEMENT DE SIGNAUX REPRESENTATIFS D'ONDES REFLECHIES, TRANSMISES OU REFRACTEES PAR UNE STRUCTURE VOLUMIQUE EN VUE D'EFFECTUER UNE EXPLORATION ET UNE ANALYSE DE CETTE STRUCTURE.

57) Pour effectuer une exploration et une analyse de la structure d'un objet (O), le procédé selon l'invention comprend l'émission d'au moins une onde incidente dans ladite structure, la réception des ondes renvoyées par la structure, par une pluralité d'éléments de détection (D1, Dn) indépendants; la mémorisation après numérisation des informations délivrées par les éléments de détection dans une mémoire de champ (MC); pour chaque point (Pij) de l'objet (O), le calcul des positions occupées dans la mémoire de champ par les signaux détectés par les éléments (D1, Dn) correspondant aux ondes provenant du point (Pij); puis la lecture de la mémoire de champ et l'addition de l'ensemble des valeurs contenues dans les positions mémoires correspondant à chaque point (Pij), la valeur (Vp) représentative de l'importance de l'onde provenant du point (Pij) étant obtenue en multipliant le résultat de l'addition par un facteur de correction (K).



La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour le traitement de signaux représentatifs d'ondes réfléchies ou transmises par une structure volumique en vue d'effectuer une exploration et une analyse de cette structure.

- 5 Elle s'applique notamment, mais non exclusivement, à la réalisation d'appareillages tels que des échographes, des appareils de contrôle non destructifs d'objets, des sonars, ou même des radars.

Les appareillages classiques de ce genre font habituellement intervenir des
10 moyens d'émission qui émettent une onde incidente dans le milieu à examiner et
des moyens de réception utilisant éventuellement tout ou partie des moyens
d'émission (systèmes homodynes) qui reçoivent les ondes réfléchies par les
structures rencontrées par l'onde incidente. Des moyens sont en outre prévus pour
transformer pour traiter les signaux reçus par les moyens de réception et les
15 présenter sous une forme exploitable par l'utilisateur, par exemple sous la forme

d'une image permettant de localiser la position des obstacles engendrant des réflexions de l'onde incidente.

La méthode la plus couramment utilisée en vue d'obtenir ces résultats consiste à
5 utiliser des ondes impulsionnaires selon un processus consistant à transmettre une
impulsion dans une direction donnée (tir), à détecter le retour des échos, à
mesurer le temps écoulé entre l'émission et la réception et à en déduire la distance
et donc la position de l'obstacle qui a engendré chaque écho. Ce processus de tir
se répète ensuite pour différentes directions, selon une loi de balayage
10 prédéterminée.

Une fois le balayage réalisé, il devient possible de réaliser, par exemple sur un
système d'affichage classique, des images mettant en évidence les obstacles
détectés par les échos, dont on connaît les positions.

15 De nombreux appareillages de ce genre exploitent une méthode dite
"séquentielle" selon laquelle la structure est examinée ligne par ligne au moyen
d'un faisceau mobile, la ligne d'exploration étant déplacée entre chaque tir.

20 Dans ces conditions, la vitesse d'examen croît avec la section du faisceau
explorateur et avec la cadence des impulsions. Or, il s'avère que la section du
faisceau est limitée par la résolution spatiale exigée, tandis que la cadence est
elle-même limitée par le temps nécessaire à tous les échos réfléchis pour revenir
sur la sonde.

25 A titre d'exemple, pour l'examen d'une plaque d'aluminium, où l'on veut détecter
des défauts de 1 mm de diamètre, avec une résolution de 3 mm, la section du
faisceau ne peut guère dépasser 2 mm, et la cadence, compte tenu du phénomène
de réverbération, doit être inférieure à 1000 Hz.

30 Dans ces conditions, la vitesse d'examen superficielle ne peut dépasser $2 \text{ mm} \times$
 $2 \text{ mm} \times 1000 = 4000 \text{ mm}^2/\text{seconde}$ soit $4/1000$ de m^2 , soit en une heure $4/1000 \times$
 $3600 = 14,4 \text{ m}^2$. En sortie de fabrication, cette vitesse s'avère souvent trop faible,
car elle freine la production, d'où parfois la nécessité de faire travailler plusieurs
35 installations en parallèle.

Dans de nombreuses autres applications, contrôle de tubes, de rails en voie, etc.,
cette limitation est encore plus critique.

Dans le but de supprimer ces inconvénients, on a déjà proposé d'émettre sur l'objet à explorer une onde sensiblement plane, de section relativement importante engendrée par une sonde constituée par un réseau comprenant une pluralité d'organes d'émission/réception de faible dimension de préférence inférieure à une longueur d'onde, de façon à posséder un très large diagramme de rayonnement ; ces organes d'émission étant attaqués simultanément, en parallèle. A la réception, chaque organe d'émission/réception travaille de façon indépendante et reçoit donc séparément les ondes réfléchies par les obstacles interceptant le faisceau qui se trouve dans sa zone de réception. Après numérisation, les informations délivrées par ces organes d'émission (champ d'ondes réfléchies) sont mémorisées dans des mémoires dont la lecture s'effectue en sens inverse de l'écriture.

Les signaux de lecture sont alors appliqués à un dispositif de reconstitution du champ d'ondes réfléchies qui comprend une pluralité d'organes émetteurs répartis selon une structure similaire à celle des organes d'émission/réception de la susdite sonde. L'application des signaux de lecture à ces organes émetteurs s'effectue en correspondance avec la transmission à la mémoire des signaux d'écriture par les organes d'émission/réception.

Le dispositif de reconstitution a pour but de reproduire dans un milieu auxiliaire le champ d'onde réfléchi afin de reproduire une image de l'objet, avec une résolution qui dépend de la longueur d'onde de l'onde incidente et de la dimension des éléments de la sonde.

Dans le cas où l'onde incidente est une onde ultrasonore, la solution la plus simple consiste à former l'image dans un milieu optiquement transparent et à la visualiser par la méthode de Schlieren.

Toutefois, cette méthode se prête mal à une exploitation industrielle. En outre, elle n'est pas linéaire et ne permet pas de restituer les composantes haute-fréquence.

Selon un autre procédé, l'image est recueillie sur une troisième sonde et la fréquence de lecture est modulée de façon à ce que l'image d'une structure soit toujours "au point" lorsque les signaux correspondants arrivent sur cette sonde.

Il s'avère que ce système est complexe et exige des sondes à très large bande. Par ailleurs, le passage dans trois sondes successives entraîne une dégradation du signal. En outre, des difficultés supplémentaires apparaissent lorsque l'onde d'émission est inclinée ou circulaire.

5 L'invention a donc plus particulièrement pour but de supprimer ces inconvénients.

10 A cet effet, elle se base sur la constatation que, dans un processus tel que celui précédemment décrit, chaque point de l'objet à explorer donne naissance à une onde qui se trouve mémorisée à des adresses d'une mémoire de champ réparties sous la forme d'un arc d'hyperbole dont les caractéristiques dépendent de la position du point par rapport à la sonde et du diagramme de rayonnement de chaque élément (cette hyperbole se réduisant théoriquement aux deux asymptotes
15 pour les points situés contre la sonde).

Dans le cas où un relais liquide est interposé entre la sonde et la pièce à contrôler (contrôle par immersion), les ondes mémorisées sont réparties sur des courbes qui ne sont pas forcément des hyperboles, car le trajet des ondes est plus complexe du fait de la réfraction entre les différents milieux de propagation. Un phénomène
20 analogue se produit lorsque le matériau sondé n'est pas homogène en ce qui concerne la vitesse de propagation. Dans tout ce qui suit, le terme d'hyperbole désignera donc d'une façon générale, l'ensemble de ces courbes.

En conséquence, le procédé selon l'invention consiste, d'une part, à calculer pour
25 chaque point de l'objet à explorer les adresses de lecture de la mémoire de champ où sont mémorisées les informations concernant l'onde renvoyée par ce point, ces adresses étant réparties dans la mémoire de champ suivant une loi de répartition hyperbolique dépendant de la position du point par rapport à la sonde, et, d'autre part, à relire la mémoire de champ suivant chaque loi de répartition pour obtenir
30 les informations concernant l'onde renvoyée par le point correspondant de l'objet, et à faire correspondre à ce point le résultat d'un calcul effectué sur ces informations.

35 Toutes les lignes de la mémoire de champ, c'est-à-dire les zones contenant les informations relatives aux signaux transmis respectivement par les organes de réception, sont relues en parallèle et les valeurs sont additionnées (soit directement sous forme numérique, soit sous forme analogique, après conversion numérique/analogique) pour donner naissance à une valeur V_p qui est introduite

dans une mémoire image comprenant une pluralité de points, à chacun desquels correspond une loi de lecture de la mémoire de champ, par exemple hyperbolique, dont les paramètres dépendent des coordonnées de ce point.

5 Compte tenu du fait que le calcul de la loi de lecture pour obtenir chaque point est trop long pour être effectué en temps réel, ce calcul est effectué au préalable et les résultats de ce calcul sont stockés dans des mémoires d'adresses, associées à chaque ligne de la mémoire de champ.

10 Le processus de lecture se déroule alors de la façon suivante :

Pour chaque point de la mémoire image, les coordonnées de ce point sont transmises en parallèle à toutes les mémoires d'adresse. Ces dernières fournissent immédiatement, en parallèle, les adresses de chaque ligne de mémoire de champ
15 permettant de générer la loi (par exemple l'hyperbole) de lecture correspondante. La valeur V_p correspondante est alors mémorisée dans la mémoire image à l'adresse dudit point.

Ce procédé permet d'obtenir rapidement une image de qualité lorsque les adresses
20 de la mémoire de champ correspondant à un point de la structure à analyser sont lues en parallèle.

Toutefois, lorsque le nombre de points de la structure susceptibles de renvoyer une onde est très supérieur au nombre d'éléments de détection, il apparaît des
25 artefacts au niveau de l'image produite car le champ renvoyé par la structure est alors sous-échantillonné.

En principe, une impulsion ultrasonore comporte toujours plusieurs oscillations, et le signal devient alternativement positif et négatif, de sorte que la composante
30 continue est nulle. Dans ces conditions, on peut montrer facilement que si les adresses de lecture de la mémoire champ correspondant à un point de la structure analysée ne coïncident pas exactement à la répartition hyperbolique des adresses contenant effectivement les signaux correspondant aux ondes retransmises par ce point, ces adresses de lecture contiennent successivement des informations
35 positives et négatives dont la somme est nulle. Mais ceci n'est rigoureusement vrai que si les conditions suivantes sont remplies :

1. les éléments de détection sont suffisamment nombreux et rapprochés

(échantillonnage spatial), et

2. la fréquence d'échantillonnage est élevée par rapport à la fréquence des ultrasons, de manière à obtenir un nombre de niveau d'échantillonnage élevé
5 (échantillonnage temporel).

Dans le cas contraire, une valeur non nulle peut être obtenue pour des points d'une zone vide de la structure analysée.

- 10 La solution qui consiste à augmenter et rapprocher les éléments de détection conduit à un dispositif volumineux et coûteux qui exclut l'utilisation de sondes matricielles qui exigeraient alors un nombre considérable d'éléments de détection et donc des mémoires de grande capacité.
- 15 Pour supprimer cet inconvénient, l'invention propose d'appliquer un facteur de correction au résultat du calcul effectué sur les informations lues dans la mémoire de champ selon la loi de répartition correspondant à l'onde renvoyée par chaque point de l'objet.
- 20 Avantageusement, ce facteur de pondération varie en fonction du rapport du nombre de valeurs non nulles lues dans la mémoire de champ et du nombre maximum théorique de ces valeurs non nulles.

Par ailleurs, pour conserver une bonne résolution, chaque élément de détection
25 doit avoir un diagramme de rayonnement très ouvert, ce qui implique en général que les éléments doivent présenter une dimension réduite, de préférence inférieure à une longueur d'onde. Mais si le nombre d'éléments est réduit, la surface totale de réception, l'est également, d'où une perte de sensibilité qui peut être incompatible avec l'analyse à effectuer.

- 30 Selon la présente invention, les éléments de détection peuvent avoir une dimension supérieure à la longueur d'onde et sont chacun munis d'un moyen pour augmenter leur angle d'ouverture, ces moyens pouvant consister en une lentille miniature ou en une calotte sphérique.
- 35 Un mode de réalisation du dispositif selon l'invention sera décrit ci-après, à titre d'exemple non limitatif, avec référence aux dessins annexés dans lesquels :

La figure 1 est un schéma théorique d'un dispositif d'exploration et d'analyse d'une structure volumique ;

La figure 2 est une représentation schématique illustrant le principe de fonctionnement du dispositif représenté figure 1 ;

5 La figure 3 représente schématiquement la mémoire de champ et la répartition hyperbolique dans cette mémoire des échos reçus par les éléments de détection ;

La figure 4 illustre une variante du dispositif représenté sur la figure 1 ;

10 La figure 5 représente des exemples de courbes donnant la valeur du facteur de correction pouvant être appliqué aux valeurs obtenues par le procédé selon l'invention, en fonction du rapport des nombres réel et théorique de détecteurs recevant un écho en provenance d'un point donné ;

15 La figure 6 illustre un exemple de répartition dans le temps d'échos émis et reçus par un élément de détection en provenance de deux points situés à des distances différentes de la sonde ;

La figure 7 montre la répartition dans la mémoire des échos retournés par les deux points représentés sur la figure 6 ;

20 Les figures 8a et 8b représentent schématiquement la sonde et le diagramme de rayonnement d'un élément de détection, respectivement selon l'art antérieur et selon l'invention ;

La figure 9 représente une sonde matricielle selon l'invention.

25 Le dispositif représenté figure 1 est utilisable dans des appareillages à ultrasons travaillant en réflexion d'impulsions, pour le contrôle non destructif des matériaux ou l'imagerie médicale.

Il fait intervenir une sonde 1 constituée par une barrette linéaire composée d'une pluralité d'éléments émetteurs/récepteurs D_1 à D_n de faible dimension (1 mm) par

exemple au nombre de 128. De ce fait, la même sonde 1 est utilisée à l'émission et à la réception.

5 Chaque élément D_1 à D_n est relié, d'une part, à une zone, ici une ligne $L_1 \dots L_n$ respective d'une mémoire de champ MC, par l'intermédiaire d'un préamplificateur A et d'un convertisseur analogique/numérique CAN et, d'autre part, à un émetteur E, par l'intermédiaire de deux diodes 2, 3 montées tête-bêche, présentant un seuil de conduction par exemple de l'ordre d'une fraction de volt.

10 Ainsi, lorsque l'émetteur E émet en délivrant une tension pouvant atteindre une centaine de volts alternatifs, les diodes 2, 3 associées à tous les éléments émetteurs/récepteurs D_1 à D_9 sont largement conductrices et se comportent comme des courts-circuits, de sorte que tous les éléments D_1 à D_9 sont excités en parallèle par l'émetteur E et produisent donc une onde plane.

15 Par contre, à la réception, chaque élément D_1 à D_9 travaille de façon indépendante et attaque le préamplificateur A auquel il se trouve relié. En effet, les signaux détectés par les éléments sont faibles (quelques dizaines de millivolts).

20 Cette disposition a en outre l'avantage de diminuer le bruit d'entrée en isolant les préamplificateurs A du circuit d'émission.

25 Chaque préamplificateur A attaque ensuite un convertisseur analogique/numérique CAN correspondant et les signaux numérisés sont stockés dans les lignes de mémoires L_1 à L_n , à des adresses d'écritures fournies par une mémoire d'adressage MA elle-même adressée par un compteur CR piloté par une horloge CK. Ce compteur CR et cette horloge CK sont communs à toutes les mémoires d'adressage MA associées aux lignes de mémoires L_1 à L_n .

30 Lors de l'écriture des lignes de mémoires L_1 à L_n , les sorties des mémoires d'adressage correspondent à l'adresse. Tout se passe donc comme si les lignes de mémoires de champ L_1 à L_n étaient adressées en parallèle par le compteur CR.

35 Avantageusement, le nombre N_0 de positions mémoires utilisées lors de l'opération d'écriture est choisi parmi les puissances de deux soit, par exemple, 512, 1024, etc..

Si, par exemple, No est égal à 512, les positions 0 à 511 de la mémoire de champ sont écrites.

5 Aussitôt après l'écriture, les mémoires L_1 à L_n sont commutées en position lecture, par l'intermédiaire d'une bascule B commandée par le bit 10 du compteur CR.

10 A partir de l'adresse 512, les sorties des lignes de mémoires de champ L_1 à L_n ne sont plus identiques, mais sont calculées de façon que les positions de mémoire adressées correspondent à une forme prédéterminée (hyperbole de lecture).

15 Ce calcul est effectué de la façon suivante : à partir de l'adresse 512, le compteur CR adresse une position P'_{ij} d'une mémoire M_i (figure 2). A chaque point P'_{11} à P'_{nm} de cette mémoire M_i on fait correspondre une position P_{11} à P_{nm} de l'objet examiné O, de manière à ce que cette mémoire "image" M_i puisse être exploitée par la suite pour fournir une image de l'objet O.

20 Pour chacun de ces points, P'_{11} , P'_{nm} , on calcule les positions occupées dans les lignes de mémoires de champ L_1 à L_n par l'impulsion ultrasonore réfléchie, en tenant compte de la forme du champ émis, de la fréquence de numérisation, de la vitesse du son, de la position de l'objet par rapport à la sonde. Ainsi, pour le point P_{ij} de l'objet qui correspond au point P'_{ij} de la mémoire image M_i , les positions occupées dans la mémoire de champ MC sont disposées selon une hyperbole indiquée par les hachures.

25 Si la sonde 1 est en contact direct avec l'objet, la numérisation peut commencer en même temps que l'émission. Si l'on travaille avec un relais acoustique, le début de la numérisation peut être différé d'un temps égal au parcours aller et retour dans le relais.

30 Les valeurs lues dans les différentes mémoires (par exemple les valeurs contenues dans les cellules des lignes de mémoires situées sur l'hyperbole H relative au point P_{ij}) sont additionnées dans un circuit additionneur S et envoyées à la position sélectionnée de la mémoire M_i (par exemple la position P'_{ij}).

35 Comme précédemment mentionné, les informations contenues dans la mémoire M_i peuvent être exploitées de différentes manières.

Elles peuvent servir à former une image sur un écran de visualisation V de type classique.

5 Ces informations peuvent être également traitées, par exemple, par des circuits logiques permettant d'identifier et d'enregistrer la nature des défauts détectés dans le cas d'un contrôle non destructif.

10 Les mémoires d'adressage MA peuvent être des mémoires mortes (ROM, PROM, EPROM) programmées une fois pour toutes. Toutefois, il est préférable, tant en ce qui concerne la vitesse que la souplesse d'exploitation, d'utiliser des mémoires reprogrammables une fois en place, par exemple des RAM.

15 La programmation peut se faire alors au moment de la mise en route. Le calcul préalable peut être effectué par un mini-ordinateur en fonction des conditions d'examen et du modèle de sonde utilisé. Les données peuvent aussi être précalculées et stockées sur disques ou sur PROM. Les résultats sont ensuite transférés séquentiellement dans la mémoire MA par un procédé classique. Ce transfert peut être très rapide (quelques secondes).

20 Un mode de calcul des adresses dans les mémoires d'adressage MA sera décrit ci-après en regard de la figure 2.

25 Soit le point P_{ij} situé à une distance d de la sonde à l'aplomb de l'élément de détection D_i, on fait correspondre à ce point P_{ij} une position P'_{ij} de la mémoire image M_i, donc une adresse fournie par le compteur CR.

Soit x la distance séparant l'élément considéré de la sonde 1, par exemple D₂, et l'élément D_i à l'aplomb du point P_{ij}, et c la vitesse du son dans le milieu objet.

30 Si l'on suppose que l'onde émise par la sonde 1 est plane et se propage perpendiculairement à la surface de la sonde 1, le temps t(x) mis par une impulsion pour parvenir à l'élément de détection D₂ après réflexion sur le point P_{ij} est égal au temps mis par l'onde émise pour atteindre P_{ij}, soit d/c + le temps mis par l'onde entre P_{ij} et l'élément D₂, soit (racine carrée de (x² + d²))/c :

35

$$t(x) = \frac{d + \sqrt{x^2 + d^2}}{c}$$

Si la fréquence d'écriture est désignée par f et si l'écriture démarre en même temps que l'émission, le signal réfléchi va être stocké dans la cellule de la mémoire de champ MC située à l'abscisse x , à la position $f \cdot t(x)$.

- 5 C'est la valeur $f \cdot t(x)$ qui va être introduite dans la mémoire MA pour être utilisée lors de l'opération de lecture.

Si l'onde ne se propage pas perpendiculairement à la sonde (sondage sous incidence inclinée) ou si l'onde n'est pas plane (onde circulaire dans le cas d'un
10 sondage sectoriel) le calcul se fait de façon très similaire, seul change le temps mis par l'onde pour atteindre un point P_{ij} . Ce temps ne dépend plus seulement de d mais aussi de la position latérale du point P_{ij} par rapport à la sonde 1. Si l'onde est inclinée, le temps varie linéairement en fonction de la position latérale X_p , le temps mis par l'onde émise pour atteindre le point P_{ij} étant égal à :

15

$$\frac{d \cdot \cos \theta + X_p \cdot \sin \theta}{c}$$

θ étant l'angle du faisceau émis par rapport à la normale à la sonde 1.

- 20 Dans le cas où les ondes engendrées par la sonde 1 sont entretenues ou semi-entretenues et où ces ondes ont la forme d'un train d'ondes d'une durée suffisante pour couvrir tout l'objet, chaque point donne naissance à une onde réfléchie de durée telle qu'elle va être mémorisée dans presque toutes les positions des lignes de mémoires MC, et les informations correspondant à des points différents vont
25 se superposer.

On peut considérer alors qu'une "tranche" de ces mémoires contiendra toutes les informations correspondant à l'objet, à partir du moment où cette tranche aura une "épaisseur" suffisante pour contenir la plus grande des hyperboles.

30

La lecture de cette unique tranche sera donc en principe suffisante pour recréer l'image de l'objet.

- Cette lecture pourra se faire en modifiant progressivement la forme des
35 hyperboles de lecture, ou en "mettant au point" sur une zone située à une distance donnée.

La numérisation du signal devra alors se faire sur un nombre de niveaux plus élevés, pour permettre une bonne discrimination des différentes informations.

5 On peut aussi envisager, pour simplifier l'électronique, d'adresser séquentiellement les mémoires MC lors de l'écriture, la relecture se faisant toujours en parallèle (un seul préamplificateur et un seul convertisseur analogique/numérique sont alors nécessaires).

10 La vitesse d'acquisition est alors notablement diminuée, mais la résolution reste élevée. Cette solution peut être intéressante lorsque la recherche de la vitesse n'est pas une priorité. Des solutions mixtes peuvent aussi être envisagées : écriture parallèle sur des groupes de mémoires, ces groupes étant adressés séquentiellement.

15 Dans l'exemple précédemment décrit, le signal ultrasonore est mémorisé avant détection, donc au niveau haute fréquence. La fréquence d'échantillonnage doit être au moins égale à trois fois la fréquence ultrasonore soit, par exemple, de 10 MHz pour une onde ultrasonore de 3 MHz.

20 Ainsi, dans le cas où l'on désire sonder une profondeur de 10 cm dans l'acier, le temps de parcours aller et retour maximum est égal à environ 60 microsecondes, soit 600 points échantillonnés sur chaque ligne.

Pour une image de 100 lignes, il faudra donc calculer $600 \times 100 = 60.000$ points.

25 Le calcul se réduit ici à une simple lecture de mémoire suivi d'une addition.

Cette opération peut être réalisée, avec des circuits modernes, en 1/100 de microseconde. La totalité de l'image sera donc calculée en $60.000/100 = 600$ microsecondes.

30

La mémorisation du champ aura duré 60 microsecondes, et le temps total d'acquisition d'une image sera donc égal à 660 microsecondes, la cadence image pourra être supérieure à 1000 Hz.

35 Si cette cadence s'avère insuffisante, elle peut être augmentée de plusieurs manières :

- a) Partage de la mémoire champ en plusieurs sous/mémoires lues en parallèles.
- b) Sélection et traitement de la seule zone mémoire contenant les informations utiles.

5

Il est à noter que l'onde ultrasonore a souvent la forme d'une impulsion brève comprenant plusieurs alternances. Il peut alors être intéressant d'utiliser plusieurs hyperboles de lecture interceptant ces alternances. Si l'impulsion est courte et ne comporte qu'une alternance complète, une hyperbole pourra être utilisée pour relire l'alternance positive et à une distance correspondant à une demi période pour relire la négative. Si P_p et P_m sont les valeurs obtenues après ces relectures, la valeur $P = P_p - P_m$ sera enregistrée. Cette solution peut améliorer le rapport signal/bruit et la résolution du système. Les deux lectures peuvent se faire successivement, au détriment de la vitesse, ou en parallèle, en utilisant deux groupes de mémoires.

15

Le procédé selon l'invention présente de nombreux avantages vis-à-vis des procédés séquentiels.

20 Vitesse : Une surface importante est explorée à chaque tir, par exemple 100×5 mm, au lieu de 3×3 mm dans le procédé séquentiel.

La vitesse d'examen peut être multipliée par 50 ou 100 par rapport au procédé séquentiel, ce qui est considérable.

25

La rapidité du système ouvre la voie à de nombreuses applications, par exemple l'imagerie tridimensionnelle et l'imagerie Doppler.

L'imagerie tridimensionnelle peut s'obtenir aisément si l'on utilise une sonde matricielle, mais l'électronique est très lourde, car le nombre d'éléments d'une sonde matricielle classique est élevé. Cependant, il est possible de réduire sensiblement le nombre d'éléments en utilisant une répartition aléatoire de ces derniers sur la surface de la sonde, ce qui autorise un espacement plus grand des éléments sans que les lobes parasites deviennent trop importants. Avec une sonde linéaire, une série de plans peut être rapidement enregistrée en déplaçant le plan de coupe entre chaque tir. A une cadence de 100 Hz, 100 plans de coupe peuvent être mémorisés en 1/10 seconde. Les mémoires peuvent être ensuite exploitées

35

pour obtenir une vue tridimensionnelle, ou une vue en coupe dans un plan quelconque.

5 En ce qui concerne l'imagerie Doppler, l'application à l'imagerie Doppler résulte du fait que des images successives peuvent être comparées. Le signal haute fréquence étant mémorisé, des différences très faibles entre deux images peuvent être décelées (par soustraction, par exemple) et mises en évidence.

10 résolution : Le système travaille avec une très grande ouverture numérique. Pratiquement, la résolution spatiale n'est limitée que par la plus grande des deux valeurs : longueur d'onde - dimension d'un élément. Ainsi, dans l'exemple cité, la plus grande de ces deux valeurs est la longueur d'onde, soit 2 mm. Avec une fréquence de 10 MHz, la plus grande des deux valeurs serait la dimension d'un élément, soit ici 1 mm.

15 Reproductibilité : La sensibilité du système varie très peu en fonction de la position d'un obstacle sous la sonde, puis le champ est émis sous forme d'une onde plane. De plus, les variations de sensibilité en fonction de la position peuvent être calculées, et donc corrigées, puisque l'on connaît la position exacte
20 de chaque obstacle par rapport à la sonde.

Le système peut fonctionner avec des fronts d'ondes d'émission de forme quelconque (plans, plans inclinés, cylindriques). Il suffit de calculer dans chaque cas la forme des hyperboles de lecture en fonction de leur position.

25 Il s'avère toutefois que lorsque le nombre de points réfléchissants dans l'objet O est très supérieur au nombre d'éléments de détection D_i , et donc au nombre de lignes L_i dans la mémoire de champ MC, des artefacts peuvent apparaître, car le champ réfléchi est alors sous-échantillonné, et une valeur non nulle peut être
30 obtenue en des points correspondant à des zones vides de l'objet O.

Ainsi, comme montré sur la figure 3, le point P_{ij} de l'objet O renvoie une onde hyperbolique que l'on retrouve aux emplacements A_i (i variant de 1 à $n-1$) dans les différentes lignes L_i de la mémoire de champ MC. Si l'hyperbole de lecture
35 H_1 coïncide avec l'hyperbole écrite A_i dans la mémoire de champ, la valeur du point image correspondant qui est égale à la somme des valeurs lues dans cette mémoire est maximum.

- Si l'on considère maintenant un point de l'objet O qui ne renvoie pas d'onde parce qu'il est situé dans une zone vide, l'hyperbole de lecture correspondante peut intercepter des valeurs d'une autre hyperbole de lecture correspondant à une onde renvoyée par un point de l'objet. Ainsi, sur la figure 3, l'hyperbole H2 intercepte l'hyperbole H1 au niveau des points Aj et Ak. La valeur qui est calculée pour le point d'une zone vide de l'objet, correspondant à l'hyperbole H2 n'est donc pas nulle. On obtient donc dans la mémoire image Mi des points parasites de faible amplitude qui dégradent la qualité de l'image ainsi formée.
- 10 Pour supprimer cet inconvénient, il est possible de multiplier et de rapprocher les uns des autres les éléments récepteurs de la sonde 1, et d'augmenter la fréquence d'échantillonnage. Toutefois, cette solution devient alors extrêmement coûteuse, et rend irréaliste l'usage de sondes matricielles.
- 15 Selon l'invention, il suffit d'appliquer un facteur de correction à la valeur obtenue en sortie du circuit additionneur S, ce facteur de correction variant en fonction d'un facteur de cohérence égal au rapport du nombre Nr de valeurs non nulles lues dans les lignes Li de la mémoire de champ MC interceptées par l'hyperbole de lecture correspondante et du nombre maximum théorique Nt qui correspond
- 20 au nombre de cases mémoires de la mémoire de champ interceptées par l'hyperbole de lecture. Théoriquement ce facteur de cohérence vaut 1. Cependant, en pratique, certains obstacles de faible dimension ou ayant une position particulière peuvent renvoyer des ondes plus faibles, et donc le facteur de cohérence peut être inférieur à 1.
- 25 La figure 4 montre une variante du circuit représenté sur la figure 1 qui permet de mettre en oeuvre ce principe. Sur cette figure, des comparateurs C1, C2, Cn sont connectés respectivement aux bus de liaison entre les lignes Li de la mémoire de champ et le circuit additionneur S pour déterminer si les valeurs lues sont nulles
- 30 ou non. On peut à cet effet négliger un ou plusieurs bits de poids faible des valeurs lues. Les sorties des comparateurs sont appliquées à un sommateur analogique à résistances R1, R2, Rn. La tension de sortie du sommateur est ainsi proportionnelle au nombre Nr de lignes Li de la mémoire de champ MC contenant une information non nulle, ou non voisine de zéro. Cette tension de
- 35 sortie est appliquée à l'entrée d'un autre comparateur 7 dont l'autre entrée est connectée à une source de tension de référence Vr réglable par un potentiomètre P. La sortie de ce comparateur 7 commande une porte 6 qui valide ou non la sortie du circuit additionneur S vers le circuit utilisateur, par exemple la mémoire

image M_i montrée sur la figure 1. De cette manière, lorsque la tension de sortie du sommateur à résistances dépasse la tension de référence V_r , le comparateur 7 fournit une tension qui débloque la porte 6.

- 5 La tension de référence V_r peut varier en fonction de la position du point correspondant de l'objet O par rapport à la sonde 1. Il est donc avantageux de faire varier cette tension, par exemple par programmation, en fonction de la position du point en cours d'analyse. Ainsi, cette tension peut varier en fonction du nombre maximum théorique N_t de lignes L_i de la mémoire de champ devant
- 10 contenir une valeur non nulle pour chaque point de l'objet O .
En pratique, une valeur de tension de référence V_r choisie égale à 0,6 à 0,8 fois N_t constitue un bon compromis.

- 15 A titre de variante, le dispositif à seuil tout ou rien constitué par le comparateur 7 et la porte 6 peut être remplacé par un dispositif qui applique une correction plus progressive à la sortie du circuit additionneur S en fonction du rapport N_r/N_t .

20 La figure 5 montre plusieurs courbes possibles donnant la valeur du facteur de correction K à appliquer en fonction du rapport N_r/N_t . La courbe F_1 correspond au circuit représenté sur la figure 4.

La courbe F_2 illustre le cas où le facteur de correction K est proportionnel au rapport N_r/N_t , et la courbe F_3 , le cas où ce facteur K varie d'une manière exponentielle en fonction du rapport N_r/N_t .

- 25 Pour obtenir de telles corrections, il suffit de remplacer le comparateur 7 et la porte 6 par un circuit à fonction de transfert prenant en compte les valeurs N_r et N_t .

- 30 Bien entendu le circuit analogique qui vient d'être décrit peut être remplacé par un circuit entièrement numérique.

Il est à noter que la vitesse d'acquisition dépend de la cadence des impulsions de sondage qui sont émises par la sonde 1 dans la direction de l'objet O à analyser, cette cadence étant elle-même limitée par le temps d'aller et de retour des ondes

35 émises et renvoyées par les obstacles les plus lointains de l'objet O .

Les figures 6 et 7 illustrent ce phénomène. Sur la figure 6, on a représenté la sonde 1 comportant les éléments de réception D_i , qui émet en direction d'un objet

- comprenant notamment deux points P1 et P2 qui renvoient un écho en direction de la sonde 1. En correspondance avec ces éléments, est montrée la courbe en fonction du temps des impulsions émises et reçues par l'élément Di la sonde 1. A l'impulsion émise E1 correspondent les impulsions reçues R11 et R12 retournées respectivement par les points P1 et P2. Si l'impulsion suivante E2 est émise par la sonde avant que l'impulsion R12 retournée par le point P2 soit reçue par la sonde, cette impulsion P12 va se mélanger avec les impulsions, par exemple R21, retournées par l'objet, en particulier par le point P1, à la suite de l'impulsion E2.
- 10 Il faut donc attendre que les ondes retournées par tous les points de l'objet soient revenues avant d'émettre l'impulsion suivante, sinon les échos provenant de plusieurs impulsions successives risquent de se mélanger au niveau des éléments de réception Di.
- 15 En fait, la solution décrite permet de s'affranchir de ce phénomène. En effet, comme cela a été expliqué ci-avant, chaque point réémetteur de l'objet à analyser retourne une onde en forme d'hyperbole que l'on retrouve dans la mémoire de champ MC.
- 20 La figure 7 représente les lignes Li de la mémoire de champ MC sur laquelle on a superposé les ondes hyperboliques H1 et H2 respectivement renvoyées par les points P1 et P2 et correspondant respectivement aux impulsions R21 et R12 de la figure 6. On remarque que ces hyperboles ont une courbure très différente. La présente invention exploite ce phénomène pour multiplier la cadence d'émission, sachant qu'à chaque point de l'objet O à analyser correspond une hyperbole de lecture unique de la mémoire de champ, quel que soit la position du point dans l'objet.
- 25 Cette disposition est particulièrement intéressante lorsque les temps de parcours des ondes sont importants, et le nombre d'échos reçus limité, ce qui est le cas par exemple du sondage sous-marin.
- 30
- Bien entendu, dans le cas d'une sonde matricielle, les adresses de la mémoire de champ contenant les valeurs reçues par les éléments de détection de l'onde retournée par un point de l'objet sont réparties sur une surface hyperbolique de révolution.
- 35 Le dispositif selon l'invention permet ainsi d'effectuer l'analyse volumique de structures à une cadence d'acquisition élevée.

Pour améliorer encore cette solution, il est à noter que pour conserver une bonne résolution, chaque élément doit avoir un diagramme de rayonnement très ouvert, ce qui implique généralement une dimension très réduite des éléments de détection D_i de la sonde 1, cette dimension étant de préférence inférieure à la longueur d'onde. Mais si le nombre d'éléments est réduit, la surface totale de réception de la sonde 1 l'est également, d'où une perte de sensibilité qui peut être très gênante. Pour supprimer cet inconvénient, l'invention propose d'utiliser des éléments de détection de dimension supérieure à la longueur d'onde, et de leur associer des lentilles miniatures ou des éléments en forme de calotte sphérique pour augmenter l'angle d'ouverture des éléments, sans modifier leur dimension et leur sensibilité.

Ainsi, comme représenté sur la figure 8a, les éléments de détection D_i ont généralement un angle d'ouverture α inférieur à 20° . Si on leur ajoute une lentille ou une calotte sphérique 11, comme représenté sur la figure 8b, cet angle d'ouverture α' peut être augmenté de façon importante (supérieur à 120°).

Cette solution rend possible la réalisation de sondes matricielles présentant un coût raisonnable. La figure 9 montre un exemple de réalisation d'une telle sonde selon l'invention, cette sonde 1' présentant une surface d'émission de forme rectangulaire, et des éléments d'émission et de détection D_i en nombre limité, répartis d'une manière aléatoire sur la surface d'émission.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour le traitement de signaux représentatifs d'ondes réfléchies, transmises ou réfractées par un objet (O), en vue d'effectuer une exploration et une analyse de la structure de cet objet (O), ce procédé comprenant l'émission d'au moins une onde incidente dans ladite structure, la réception des ondes provenant de la structure rencontrée par l'onde incidente à l'intérieur de l'objet (O), par une pluralité d'éléments de détection (D_1, D_n) indépendants les uns des autres, la mémorisation après numérisation des informations délivrées par les éléments de détection dans une mémoire de champ (MC), la reconstitution et/ou l'analyse de la structure de l'objet (O) à partir des informations lues dans la mémoire de champ (MC), caractérisé en ce qu'il comprend, pour chaque point (P_{ij}) de l'objet (O), le calcul des positions occupées dans la mémoire de champ par les signaux détectés par les éléments (D_1, D_n) correspondant aux ondes provenant du point (P_{ij}), puis la lecture de la mémoire de champ et l'addition de l'ensemble des valeurs contenues dans les positions mémoires correspondant à chaque point (P_{ij}), la valeur (V_p) représentative de l'importance de l'onde provenant du point (P_{ij}) étant obtenue en multipliant le résultat de l'addition par un facteur de correction (K), et étant ensuite traitée ou mémorisée dans une mémoire spécifique.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le calcul des positions de la mémoire de champ contenant les informations relatives à chaque point (P_{ij}) est effectué au préalable, et les valeurs correspondantes stockées dans des mémoires d'adressage.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que toutes les lignes (L_1, L_n) de la mémoire de champ (MC) sont lues en parallèle, et les valeurs (V_p) représentatives de l'importance des ondes provenant respectivement des points (P_{ij}) sont mémorisées dans une mémoire image (M_i) comprenant une pluralité de points (P_1 à P_n), à chacun desquels correspond une loi d'adressage de lecture dont les paramètres dépendent des coordonnées de ce point.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la susdite loi d'adressage est une loi hyperbolique ou pseudo hyperbolique, et en ce que le facteur de correction (K) varie en fonction du rapport (N_r/N_t) du nombre de valeurs (N_r) supérieures à un seuil prédéfini, lues

dans la mémoire de champ pour un point, et du nombre total (N_t) de valeurs lues pour ce point.

- 5 Procédé selon la revendication 4,
5 caractérisé en ce que le facteur de correction (K) est nul lorsqu'il est inférieur à un certain seuil fonction du rapport (N_r/N_t) et vaut 1 lorsqu'il est supérieur à ce seuil.
- 10 Procédé selon la revendication 4,
10 caractérisé en ce que le facteur de correction (K) est proportionnel au rapport (N_r/N_t).
- 15 Procédé selon la revendication 4,
15 caractérisé en ce que le facteur de correction (K) varie d'une manière exponentielle en fonction du rapport (N_r/N_t).
- 20 Procédé selon l'une des revendications 3 à 7,
20 caractérisé en ce que plusieurs lois d'adressage de lecture sont associées à chaque point (P_1 à P_n) de la mémoire image.
- 25 Procédé selon l'une des revendications précédentes,
25 caractérisé en ce que les susdites ondes incidentes sont émises sous la forme d'impulsions.
- 30 Procédé selon l'une des revendications 1 à 8,
30 caractérisé en ce que les ondes incidentes sont émises sous la forme de trains d'ondes ou d'une émission continue, la loi d'adressage étant alors choisie de façon à mettre en évidence les points réfléchissants situés à une distance prédéterminée.
- 35 Procédé selon l'une des revendications précédentes,
35 caractérisé en ce que l'émission des ondes incidentes et la réception des ondes renvoyées par l'objet (O) s'effectuent par les mêmes moyens.
- Procédé selon l'une des revendications 1 à 11,
35 caractérisé en ce que l'émission des ondes incidentes et la réception des ondes renvoyées par l'objet (O) s'effectuent à l'aide de moyens distincts.
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que les fronts des ondes incidentes sont plans.

14. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que les ondes incidentes sont composées de faisceaux directifs
5 et/ou focalisés, ne se recouvrant pas, ces faisceaux étant déplacés au cours
d'émissions successives de façon à couvrir toute la structure explorée.

15. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que les susdites ondes incidentes sont engendrées à l'aide d'un
10 réseau linéaire d'organes d'émission/réception indépendants.

16. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que les ondes incidentes sont engendrées à l'aide d'organes
d'émission/réception disposés selon une configuration matricielle.

17. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que les ondes incidentes sont engendrées à l'aide d'organes
d'émission/réception disposés aléatoirement.

20 18. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des
revendications précédentes,
caractérisé en ce qu'il comprend une sonde (1) composée d'une pluralité
d'éléments émetteur/récepteur (D_1, D_n) reliés chacun, d'une part, à un émetteur
(E), par l'intermédiaire de deux diodes à seuil de conduction (2, 3) montées tête-
25 bêche et, d'autre part, à un convertisseur analogique/numérique (CAN) dont la
sortie est reliée à l'entrée d'écriture d'une mémoire de champ (MC) dont la lecture
est commandée par une mémoire d'adressage (MA) pilotée par une horloge (CK)
via un compteur (CR), la sortie de lecture des mémoires de champ (MC) étant
connectée à un additionneur (S) dont la sortie est reliée via un moyen de
30 correction à l'entrée d'écriture d'une mémoire image (Mi) pilotée par le susdit
compteur (CR), le moyen de correction étant piloté par un dispositif de comptage
du nombre (Nr) de valeurs supérieures à un seuil prédéfini, lues dans la mémoire
de champ et additionnées.

35 19. Dispositif selon la revendication 18,
caractérisé en ce que les éléments émetteurs/récepteurs (D_1, D_n) présentent des
dimensions supérieures à la longueur d'onde émise et sont chacun munis d'un
moyen pour augmenter leur angle d'ouverture.

20. Dispositif selon la revendication 19,
caractérisé en ce que les moyens pour augmenter l'angle d'ouverture des éléments
émetteurs/récepteurs (D_1 , D_n) sont constitués par des lentilles miniatures ou des
5 calottes sphériques.

21. Dispositif selon la revendication 19 ou 20,
caractérisé en ce que les éléments émetteurs/récepteurs (D_1 , D_n) sont disposés
selon une configuration matricielle, les éléments récepteurs (D_i) présentant une
10 répartition aléatoire dans cette configuration.

1/4

Fig.1

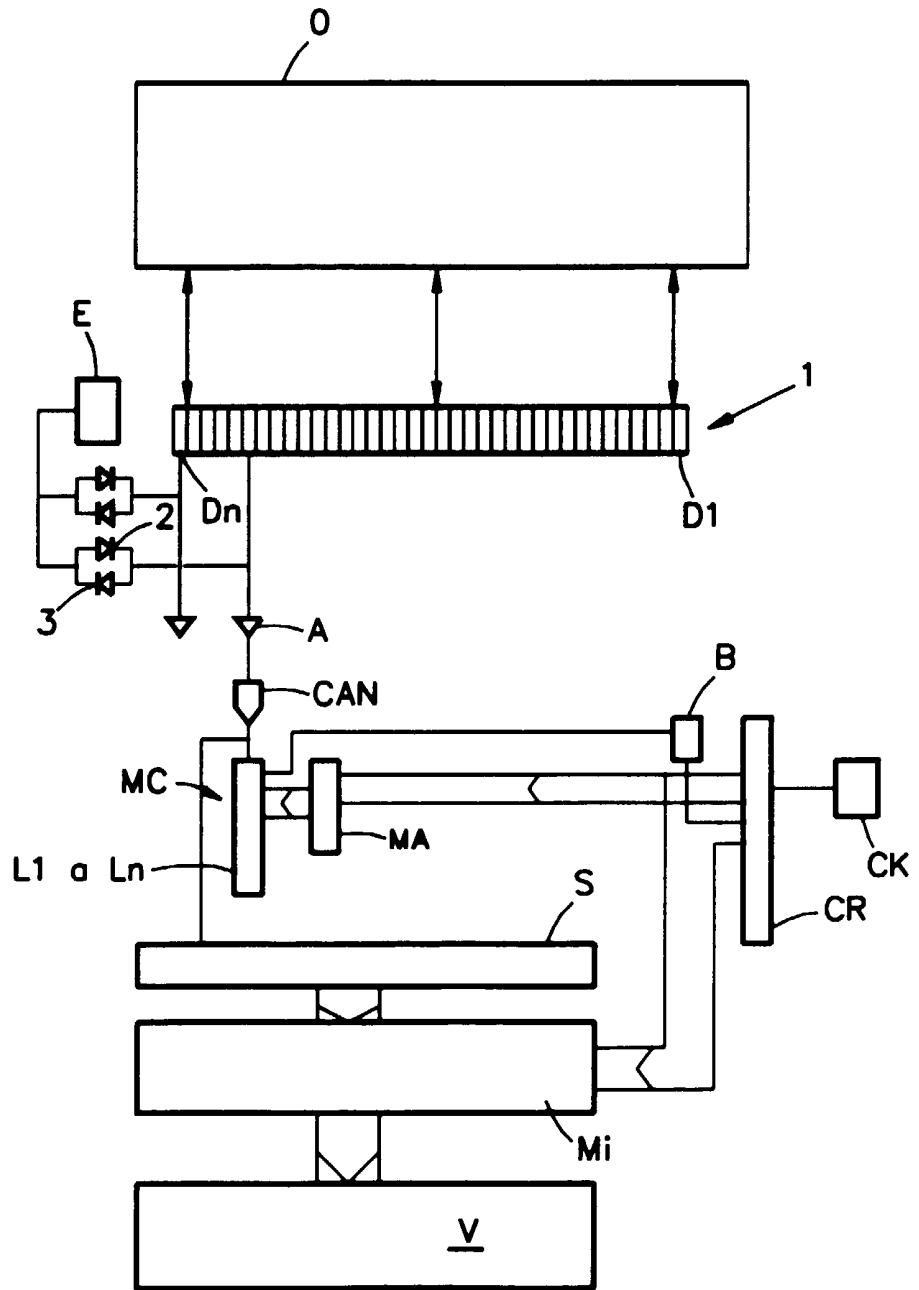
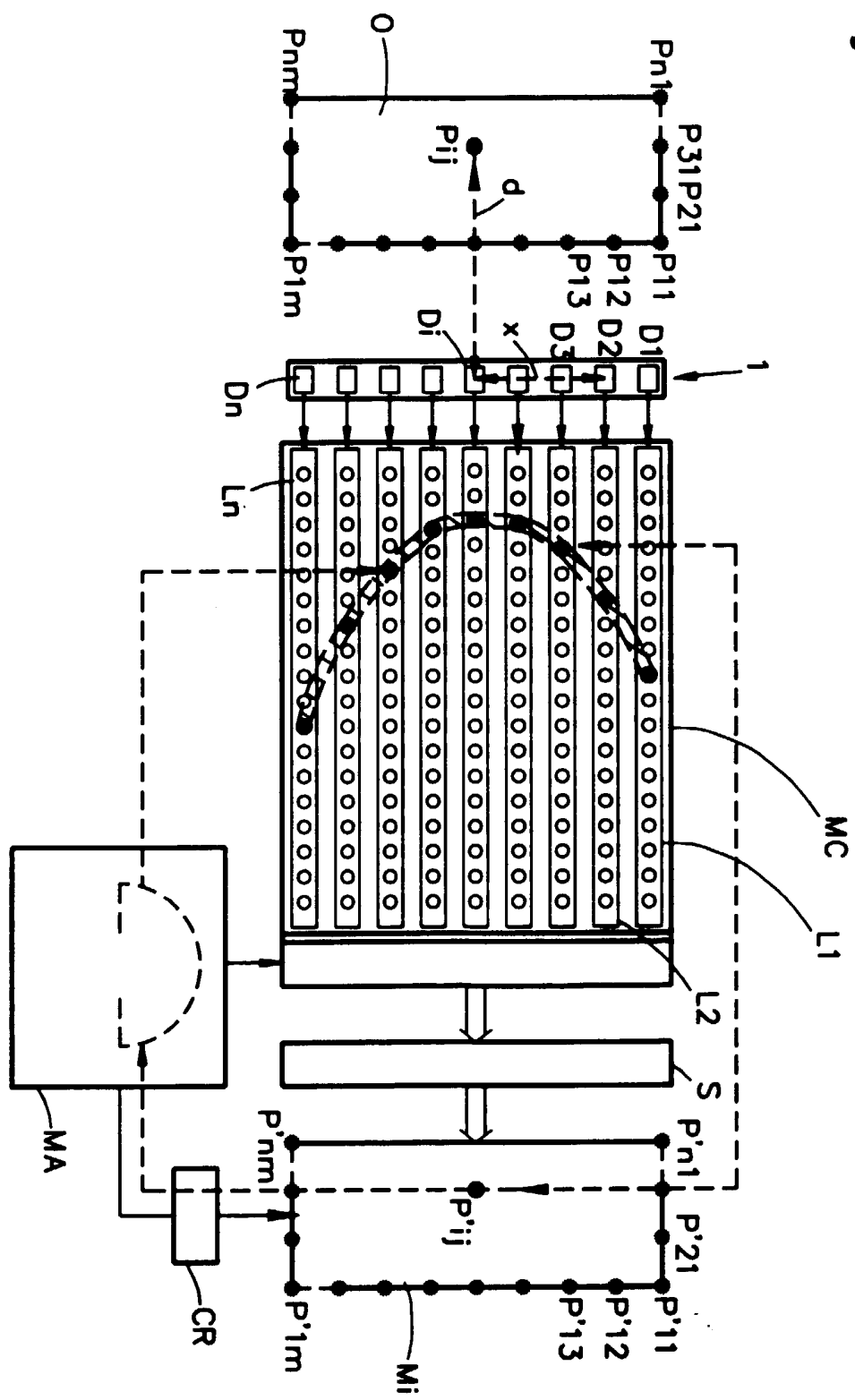


Fig.2



3/4

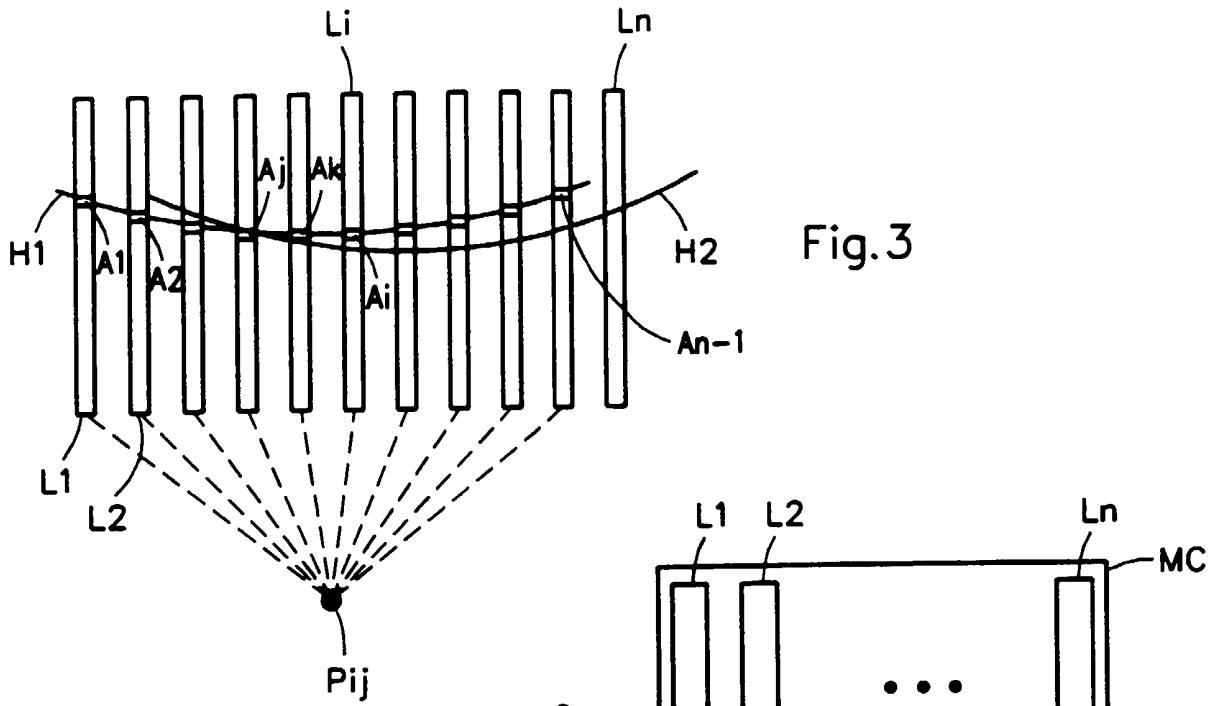


Fig. 3

Fig. 4

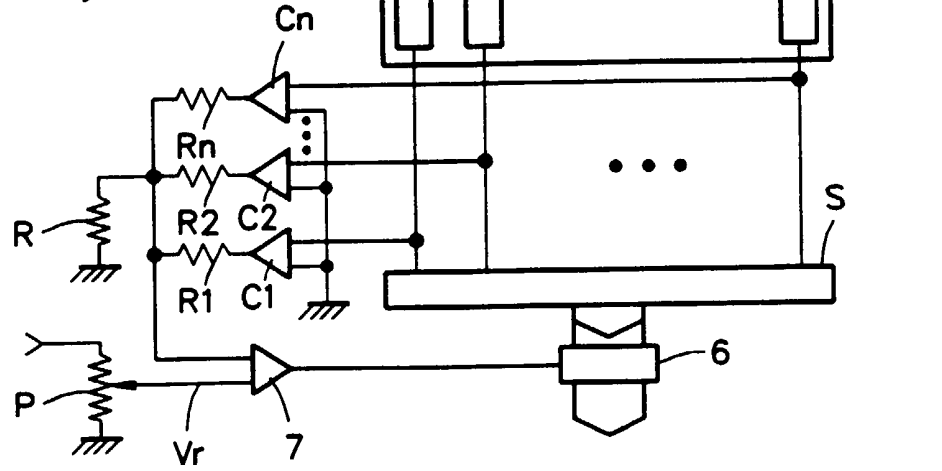
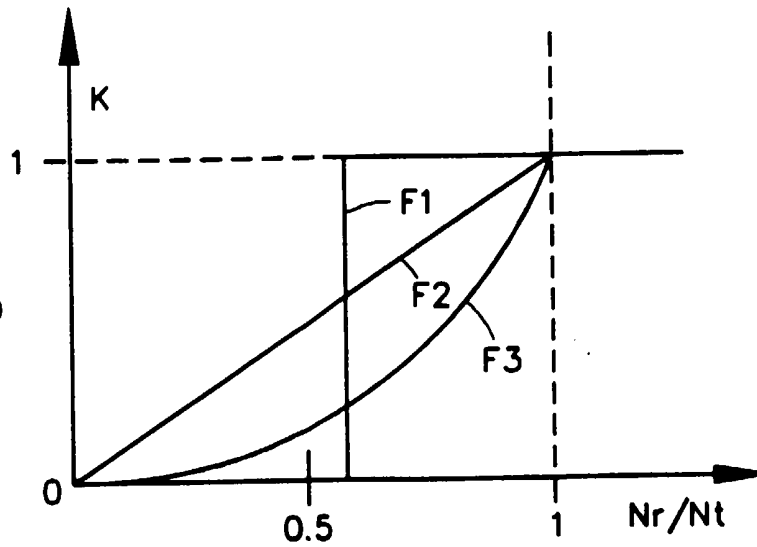


Fig. 5



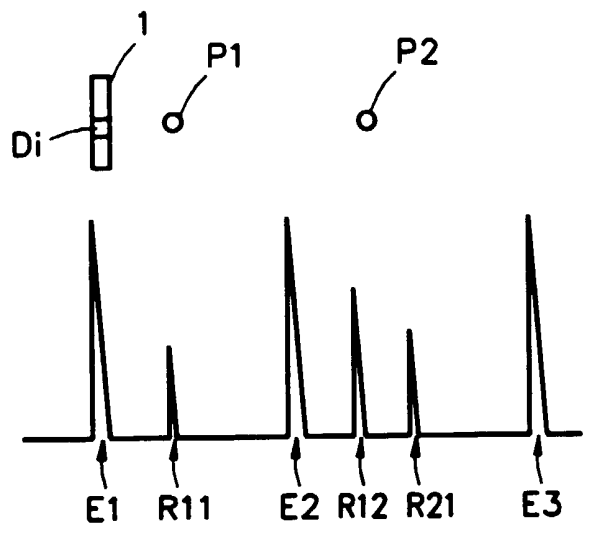


Fig. 6

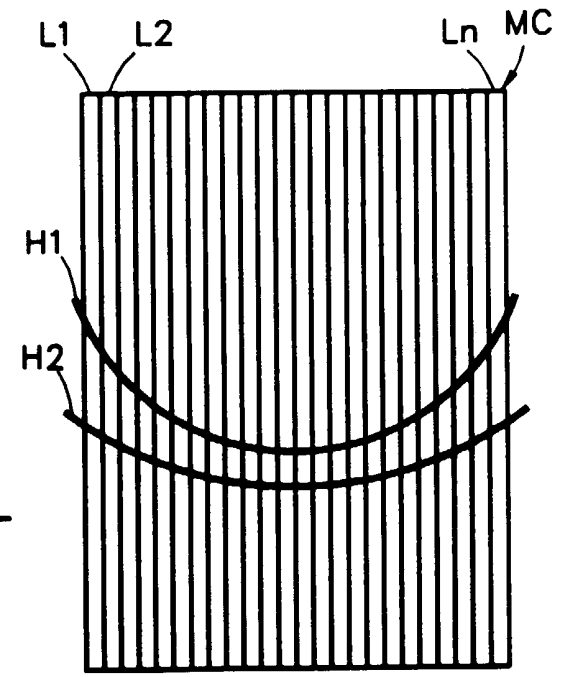


Fig. 7

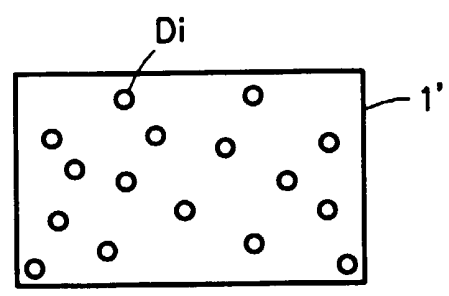


Fig. 9

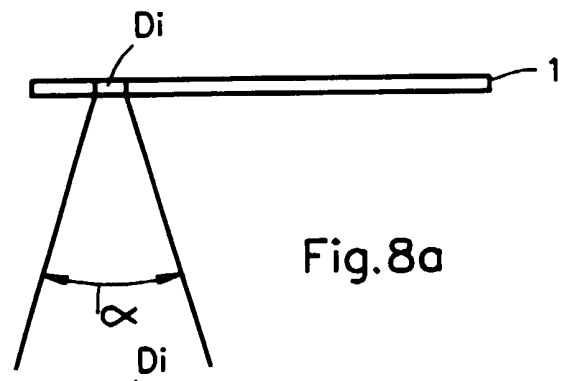


Fig. 8a

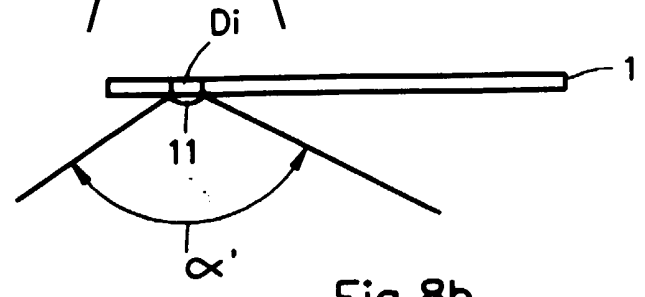


Fig. 8b

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 543267
FR 9704936

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X Y	US 4 841 489 A (OZAKI YOSHIHIKO ET AL)	1-3,9-11 4,5,12, 15-18
A	* colonne 10 *	21
Y	--- M. I. SKOLNIK: "Introduction to Radar Systems" 1981, MCGRAW-HILL, USA XP002054016 * page 388, alinéa 10.7 - page 392 *	4,5
Y	--- US 4 317 369 A (JOHNSON STEVEN A) * colonne 6 *	12,15
Y A	--- US 4 817 434 A (ANDERSON FORREST) * colonne 3 *	16,17 21
Y	--- US 4 012 952 A (DORY JACQUES) * colonne 2, ligne 38 - ligne 50; figure 1 *	18

		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		G01S A61B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
30 janvier 1998		Zaccà, F
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)