

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

① N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 481 489

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

②

N° 80 09386

⑤④ Dispositif corrélateur bidimensionnel.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.⁸). G 06 G 7/195; F 41 G 7/00.

②② Date de dépôt..... 25 avril 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 44 du 30-10-1981.

⑦① Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, société anonyme, résidant en France.

⑦② Invention de : Pierre Tournois.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Thomson-CSF, SCPI,
173, bd Haussmann, 75360 Paris Cedex 08.

La présente invention a pour objet la corrélation bidimensionnelle en temps réel d'une image obtenue ligne par ligne et d'une image en mémoire. Le dispositif fournit les signaux de corrélation de l'image pour un certain nombre de lignes avec l'image en mémoire, dans le temps correspondant à un
5 balayage ligne.

Le dispositif suivant l'invention s'applique en particulier aux systèmes embarqués sur un véhicule et qui fournissent des images telles, que les lignes se renouvellent par avancement du véhicule. Plus particulièrement le dispositif s'applique à l'imagerie par radar, sonar ou optique qui doivent
10 nécessairement fonctionner en temps réel et pour lesquels la cadence de renouvellement des lignes d'image est élevée et aussi aux systèmes pour lesquels le volume et la consommation des moyens mis en oeuvre doivent être réduits au maximum. Parmi ces systèmes on peut citer les systèmes embarqués de guidage, de repérage et de recalage de cartes.

15 Par exemple dans le domaine de l'imagerie acoustique sous-marine on utilise des systèmes sonar à haute définition pour visualiser les fonds marins.

Egalement dans le domaine de la cartographie aérienne on utilise des systèmes radar aéroportés ou encore des systèmes à infrarouge actif ou passif.

20 Ces systèmes sont constitués d'une antenne d'émission qui envoie des signaux sous forme d'ondes, ultrasonores, électromagnétiques, ou infrarouges, dans tout ou partie de l'espace environnant. Les signaux reçus par la même antenne sont traités pour séparer les énergies provenant de différentes directions. La distance de séparation obtenue dépend de la résolution
25 angulaire de l'antenne, qui est fonction du rapport entre la longueur d'onde λ des signaux émis et de la longueur L de l'antenne soit λ/L .

Par exemple, de manière à obtenir un pouvoir séparateur élevé, il est connu d'utiliser une antenne radar à vision latérale (appelé "side-looking" dans la littérature anglo-américaine) fonctionnant en antenne synthétique,
30 c'est-à-dire utilisant le déplacement du véhicule porteur pour synthétiser

une longueur d'antenne plus grande.

Dans les systèmes aéroportés destinés à faire de la cartographie aérienne par radar à antenne latérale synthétique, les signaux reçus sont enregistrés sur film photographique puis traités pour restituer l'image véritable, le traitement consistant à corrélérer les signaux avec le signal de référence fonction du déplacement du véhicule et de la distance à l'objet. Les données collectées sont donc importantes et les traitements de corrélation longs. Ils sont effectués de manière optique par lecture du film comme décrit par exemple dans un article de L.J. Cutrona et al (Proceedings IEEE, Vol. 54 n° 8, 1966, p. 1026).

Dans d'autres applications d'exploitation des signaux radar, où les fonctions de corrélation et aussi de convolution jouent un rôle important, les traitements sont faits numériquement car ils présentent plus de précision et de souplesse, ces traitements étant surtout axés sur des mesures de temps d'arrivée, de tri et d'identification des signaux.

Les dispositifs numériques compte tenu de la vitesse de calcul ont un encombrement et une consommation électrique trop importants pour des systèmes embarqués, aéroportés ou sous-marins.

Pour remédier à ces inconvénients, le dispositif suivant l'invention, utilise pour la corrélation des composants à ondes élastiques particulièrement bien adaptés au traitement rapide des signaux analogiques. On trouve une application au traitement de signal radar dans les articles suivants :

1) P. Anthouard et T. Beauvais AGARD Conference Proceeding N° 230, et

2) E.C.S. Paiges, Proc. Int. Seminar on Component Performances and System Application of SAW devices (Avenmore Scotland) p. 167-180, 1973, TEE Publication.

Brièvement c'est un dispositif de corrélation bidimensionnelle, entre une image de référence d'un plan Oxy et ayant des lignes orientées suivant la direction Ox et une image obtenue par balayage dans le plan Oxy, les lignes balayées étant parallèles à Ox, caractérisé par le fait que le dispositif comporte, d'une part un corrélateur recevant simultanément sur ces deux entrées les deux signaux électriques d'une ligne de l'image de référence et

d'une ligne de l'image balayée fournissant une ligne de corrélation monodimensionnelle formée de points correspondants aux décalages des deux signaux d'entrée et qu'il comporte d'autre part un sommateur effectuant la sommation des signaux pour les points correspondants à un même décalage, pour
 5 l'ensemble des lignes de corrélation monodimensionnelles des deux images, le signal de sommation fournissant une ligne de corrélation bidimensionnelle, et que le dispositif fournit une nouvelle ligne de corrélation bidimensionnelle, après chaque nouvelle ligne balayée de l'image obtenue par balayage.

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description
 10 qui va suivre illustrée par les figures qui représentent :

- la figure 1, le schéma de balayage d'un plan Oxy obtenu par avancement d'un véhicule muni d'une antenne émettrice et réceptrice ;
- figure 2, le schéma du principe de la corrélation bidimensionnelle de deux images ;
- 15 - figure 3, un convoluteur à ondes élastiques ;
- figure 4, un organigramme simplifié du corrélateur bidimensionnel ;
- figure 5, le schéma d'un corrélateur bidimensionnel pour des images mises en mémoire avec corrélation par un convoluteur à ondes élastiques ;
- figure 6, le schéma des circuits par une mise sur porteuse d'un signal
 20 complexe ;
- figure 7, quelques signaux temporels ;
- figure 8, le schéma des circuits pour l'obtention des composantes complexes du signal de corrélation ;
- figure 9, le schéma montrant le calage d'une image balayé à partir
 25 des signaux de corrélation.

La figure 1 montre un exemple d'imagerie par vision latérale. Montée sur le véhicule 1 se déplaçant suivant une direction yy' , l'antenne émet et reçoit suivant le faisceau F qui intercepte le plan objet suivant une ligne J parallèle à l'axe xx' .

30 Les points image formant cette ligne J correspondent à une distance comprise entre L_1 et L_2 . La résolution suivant yy' correspond à la largeur angulaire à puissance moitié du faisceau F tandis que la résolution suivant xx' est inversement proportionnelle à la bande de fréquence des signaux émis.

Par l'avancement du véhicule 1 on obtient une succession de lignes formant une image dite en mode B.

Dans d'autres systèmes plusieurs faisceaux F peuvent être formés simultanément à la réception permettant d'obtenir plusieurs lignes formant
5 une image.

Les lignes d'images ainsi obtenues sont mises en mémoires et utilisées pour être corrélées à une image déjà en mémoire.

La fonction de corrélation monodimensionnelle de deux signaux s_1 et s_2 dépendant de la dimension x est :

$$10 \quad C(\ell) = \int_X s_1(x) \cdot s_2(x-\ell) dx \quad (1)$$

où X est la dimension de l'espace pour lequel est calculé la fonction correspondant à un décalage ℓ suivant Ox .

La fonction de corrélation bidimensionnelle de deux signaux s_1 et s_2 dépendant des deux dimensions x et y s'écrit :

$$15 \quad C(\ell, m) = \int_X \int_Y s_1(x, y) \cdot s_2(x-\ell, y-m) dx dy \quad (2)$$

où X et Y sont les dimensions de l'espace pour lequel est calculée la fonction correspondant à un décalage ℓ suivant Ox et un décalage m suivant Oy .

Il est possible d'obtenir de manière simple la fonction de corrélation bidimensionnelle de deux images, dans le cas où l'une des deux images est
20 obtenue par un système tel que celui de la figure 1, l'autre image étant fixe. En effet dans ce cas le décalage suivant la direction de propagation du véhicule, par exemple Oy , s'effectue automatiquement par l'avancement du véhicule.

Le principe de corrélation entre une image fixe et une image obtenue
25 par balayage est montré par la figure 2.

L'image fixe 10 comporte K lignes de M points et l'image balayée 11 comporte L ligne, telle que J , de N points. Le balayage se fait parallèlement à la direction Ox . Sur la figure 2 on a pris le cas de K inférieur à L et M supérieur à N .

30 Le principe de fonctionnement du dispositif selon l'invention est le suivant :

On corrèle suivant la dimension x et ligne à ligne les K premières lignes de l'image balayée 11, avec les K lignes de l'image fixe 10 pour obtenir K lignes de $(M-N)$ points de la fonction de corrélation monodimen-

sionnelle $C(\ell)$ suivant la direction Ox (1), chaque point correspondant à un décalage ℓ .

On effectue la sommation des K points correspondants à un même décalage ℓ sur la totalité des K lignes pour obtenir $M-N$ points de corrélation bidimensionnelle $C(\ell, m)$ pour un décalage m suivant Oy (2), ces $M-N$ points formant une ligne de corrélation telle que 13.

Le même processus est recommencé avec les lignes 2 à $K + 1$ de l'image 11 fournissant une deuxième ligne de corrélation bidimensionnelle et ainsi de suite jusqu'à obtenir $L-K$ lignes de corrélation de $M-N$ points formant la corrélation bidimensionnelle 12 des deux images 10 et 11.

Ce principe appliqué aux systèmes d'imagerie rappelés précédemment conduit naturellement à obtenir le décalage ligne par ligne de l'image 11 par l'avancement du véhicule suivant Oy et le système peut donc fournir une image 11 formée seulement de K lignes.

Une ligne de corrélation 13 est obtenue chaque fois qu'une ligne de l'image 11 est renouvelée. Le dispositif proposé permet, grâce à l'utilisation de convoluteurs acoustiques, d'obtenir une ligne de corrélation bidimensionnelle dans un intervalle de temps qui est généralement inférieur à la période de renouvellement des lignes d'images obtenues par les systèmes d'imagerie utilisant un véhicule, comme on le montrera plus loin dans les applications.

Le dispositif proposé appliqué aux systèmes d'imagerie fournit donc la fonction de corrélation bidimensionnelle de deux images en temps réel.

Le schéma de la figure 3 montre l'organisation du dispositif de corrélation des deux images 30 et 31. On n'a représenté que deux lignes consécutives r_1, r_1^1 de l'image 30 et r_2, r_2^1 de l'image 31. Les deux images 30 et 31 sont corrélées ligne à ligne, r_1 avec r_2 puis r_1^1 avec r_2^1 , etc... dans un dispositif corrélateur 32. A chaque fois que deux lignes, par exemple r_1 et r_2 , sont corrélées le dispositif corrélateur fournit une ligne de corrélation monodimensionnelle composée de points chacun correspondant à un certain décalage ℓ . Dans le circuit 33 les points de toutes les lignes de corrélation sont additionnés par décalage ℓ et lorsque toutes les lignes images 30 et 31 ont été traitées, le circuit 33 fournit une ligne de la corrélation bidimensionnelle correspondant à un décalage m dans le sens de déplacement ligne par ligne de l'une des deux images.

Le dispositif corrélateur 32 peut être par exemple constitué d'un calculateur pouvant comprendre également le circuit 33. Préférentiellement il sera constitué d'un dispositif analogique formé d'un convoluteur acoustique.

5 Sur la figure 4 est montré le principe connu du dispositif de convolution par ondes élastiques. Il comporte un barreau en matériau piézoélectrique 20, comportant à ces extrémités deux transducteurs interdigités T_1 et T_2 entre lesquels est disposée une paire d'électrodes planes 21 et 22.

10 Les deux signaux dont on veut obtenir la convolution $F(t)$ et $G(t)$ sont modulés par une porteuse de pulsation ω capable de générer des ondes acoustiques dans le barreau 20.

Ces signaux sont appliqués aux transducteurs T_1 et T_2 et les deux ondes acoustiques contradictives ainsi émises sont de la forme :
 $F(t-z/v) e^{j(\omega t - kz)}$ et $G(t+z/v) e^{j(\omega t + kz)}$ où z est la coordonnée pour les
 15 ondes à la vitesse v et k le nombre d'onde ω/v . Du fait des propriétés non linéaires du substrat, on obtient entre les bornes des deux électrodes 21 et 22 un signal $H(t) = K_c e^{2j\omega t} \int F(\tau) \cdot G(2t - \tau) d\tau$ (2), où K_c est lié au rendement énergétique.

20 Le signal $H(t)$ représente la fonction de convolution de F et G comprimés dans le temps dans un rapport 2, et dans un intervalle de temps correspondant à la durée pendant laquelle les deux signaux interagissent sur toute la longueur S des électrodes 21 et 22, suivant l'axe de propagation. Ainsi si les deux signaux avaient la même durée un seul point de la fonction de corrélation serait valable. Par contre si les deux signaux ont une durée
 25 différente on obtient un nombre de points de corrélation valables égal à la différence du nombre des points entre les deux signaux.

Généralement pour augmenter le rendement de ces dispositifs on utilise des compresseurs de faisceau acoustique ou une plaque en matériau semi-conducteur placée entre les électrodes 21 et 22 et le barreau 20.

30 Le fonctionnement en corrélateur nécessite l'inversion dans le temps de l'un des signaux. Cette opération est aisément mise en oeuvre lorsque les signaux sont stockés en mémoire, puisqu'il suffit alors d'effectuer la lecture en sens inverse de l'écriture.

Un exemple de réalisation suivant l'invention est montré par le schéma

de la figure 5, pour le traitement de signaux correspondant aux deux images à corrélérer. Pour garder l'information à la fois d'amplitude et de phase, chaque signal a deux composantes appelées composantes complexes. Les deux signaux sont stockés sous forme d'échantillons numériques complexes dans des mémoires à accès aléatoire de type RAM. Pour simplifier on n'a représenté que les circuits de lecture de ces mémoires. Ainsi les parties réelle et imaginaire du signal représentatif de l'image défilant ligne par ligne sont stockées ligne par ligne dans les mémoires 40 et 41 tandis que les parties réelle et imaginaire du signal de référence sont stockées également ligne par ligne dans les mémoires 42 et 43.

Les échantillons numériques des signaux mémorisés sont lus rapidement ligne par ligne à la cadence d'un signal d'horloge H_M fourni par le générateur 46. Le signal d'horloge H_M est appliqué aux dispositifs d'adressage 61 et 62 qui fournissent les adresses des mémoires types RAM 40, 41, 42 et 43.

Le signal d'horloge commande également la cadence de conversion analogique-numérique des échantillons lus dans les convertisseurs 44.1, 44.2, 44.3 et 44.4 de manière à synchroniser l'envoi des deux signaux sur deux circuits modulateurs 45.1 et 45.2. Un circuit modulateur de mise sur une fréquence porteuse est représenté sur la figure 6. Il est de type classique à savoir composé de deux multiplicateurs 65 et 66 en $\cos(2\pi f_0 t)$ et $\sin(2\pi f_0 t)$, où la fréquence f_0 est fournie par un oscillateur local 47. La partie réelle P_r de chacun des signaux d'entrée est multipliée par le terme en cosinus tandis que la partie imaginaire P_i est multipliée par le terme en sinus. Les deux signaux obtenus sont ensuite additionnés dans un circuit 63 et le signal résultant est filtré dans un filtre 64 passe-bande centré sur f_0 de bande B_0 fonction de la fréquence du signal d'horloge H_M .

Les deux signaux $s(t)$ et $r(t)$ obtenus en sortie des deux modulateurs 45.1 et 45.2 sont envoyés après amplification sur les transducteurs d'un dispositif convoluteur piézoélectrique 50, dont la fréquence centrale est égale à f_0 et la bande égale à B_0 .

Si T_H est la période du signal de l'horloge de commandé H_M , N et M respectivement le nombre d'échantillons par ligne dans les mémoires d'image 40, 41 et dans les mémoires de référence 42, 43, les durées des signaux $s(t)$

et $r(t)$ qui correspondent à chaque ligne lue sont respectivement égales à NT_H et MT_H .

Le diagramme en temps des signaux d'entrée et de sortie du convolueur 50 est indiqué sur la figure 7 lorsque $M = 2N$. A l'instant t_0 les deux signaux $r(t)$ et $s(t)$ représentés respectivement sur les lignes a et b sont envoyés sur les deux transducteurs 51 et 52 (figure 5) distants d'une longueur $S_0 = MT_H \cdot v$, si v est la vitesse des ondes élastiques dans le barreau piézoélectrique. Compte tenu de la compression en temps d'un facteur 2, le

10 signal obtenu $u(t)$ représenté sur la ligne c, a une durée égale à $\frac{(M-N)T_H}{2}$ et il est décalé par rapport aux signaux d'entrée d'un temps égal à

$t_1 = \frac{(M+N)T_H}{2}$; en outre il est à la fréquence $f_1 = 2f_0$ comme le montre la formule (2).

15 Le signal $u(t)$ est envoyé dans un circuit démodulateur 49 représenté figure 8, dans lequel le signal est multiplié dans les circuits 82 et 83 par $\sin(2\pi f_1 t)$ et $\cos(2\pi f_1 t)$, la fréquence f_1 étant fournie par un oscillateur local 48 les deux signaux obtenus étant ensuite filtrés dans deux filtres 84 et 85 passe-bas dont la fréquence de coupure est voisine de $B_0/2$.

20 En sortie du démodulateur 49 les deux signaux sont envoyés dans deux circuits échantillonneur-codeur 55.1 et 55.2 commandé par un signal d'horloge H_T de période 2 fois plus petite que H_M et restituant les signaux sous forme d'échantillons numériques.

A la sortie de chacun des circuits 55.1 et 55.2, on obtient donc pour

25 une ligne traitée et à la cadence MT_H , $M-N$ échantillons codés sur un nombre de bits n choisi par exemple égal au nombre de bits d'origine dans les mémoires et occupant une durée $(M - N) T_H/2$.

Ces $M-N$ échantillons correspondant par exemple à la ligne $i + 1$ sont additionnés avec les $M-N$ échantillons provenant de la somme des échantillons des i lignes précédentes dans un circuit 56 composé d'une mémoire tampon, d'un accumulateur, formés de $M-N$ cases de n bits et d'un ou plusieurs additionneurs. Ainsi les échantillons de chacun de ces deux registres sont additionnés case par case séquentiellement ou en parallèle

30 dans un intervalle de temps au plus égal à $t_2 = MT_H$. Lorsque l'ensemble des

Lignes a été traité les M - N échantillons obtenus sont stockés dans une ligne des mémoires 57 et 58, à la cadence d'une horloge H_S de même période que H_M formant une ligne de corrélation bidimensionnelle.

Le processus ainsi décrit recommence à chaque fois qu'une ligne est
5 renouvelée dans la mémoire image. Lorsque un nombre L de lignes ont été renouvelées les mémoires 57 et 58 sont remplies et correspondent à la corrélation bidimensionnelle de l'image de référence, avec l'image qui a défilé ligne par ligne sur L lignes. Le nombre de lignes de corrélation en sortie peut être quelconque ; cependant à partir d'un nombre L de lignes
10 formées les deux images d'origine qui correspondent à la ligne i et à la ligne i + L sont entièrement distinctes.

Les signaux de sortie du circuit 56 peuvent être traités pour obtenir soit le module soit la phase, une seule mémoire de sortie étant alors utilisée.

Bien entendu, il est possible d'inverser la taille des mémoires, la copie
15 étant alors plus petite que l'image lue.

Le dispositif suivant l'invention s'applique au guidage d'engin par recalage de cartes. En se reportant à la figure 9, un engin suit une trajectoire 72 et à chaque instant il acquiert l'image d'une portion de terrain 70. Il possède en mémoire une carte de référence 71 composée de lignes
20 repérées suivant un système d'axe rectangulaires Oxy et dont l'ordonnée y_0 est connue. Les systèmes de navigation à bord de l'engin permettent de fournir à chaque instant une image dont les lignes restent parallèle à l'axe Oy de la carte de référence. A l'instant où l'ordonnée de l'image lue est égale à y_0 la ligne de corrélation bidimensionnelle correspondant à cet
25 instant présente un maximum dont la position permettra de mesurer l'abscisse x_0 et de recaler l'engin.

Le dispositif s'applique pour les systèmes aériens avec radar et à infrarouges et aussi pour les systèmes sous-marins avec sonar. En outre, si l'engin est capable de suivre plusieurs fois la même trajectoire avec une
30 grande précision dans un laps de temps relativement long, le dispositif peut s'appliquer au repérage de modifications de terrain ou de fonds marin ; en particulier il peut s'appliquer sur satellites compte tenu des encombrements réduits pour ce type d'engin.

Le dispositif décrit s'applique également à la reconnaissance de

formes : la copie représentant la forme à reconnaître est alors de dimensions plus petites que l'image lue.

Dans un exemple de réalisation les dimensions des mémoires image et référence sont par exemple :

- 5 - nombre de ligne $L = 100$
- nombre de points par ligne $N = 100$ et $M = 400$
- échantillons numériques sur 8 bits.

Ces mémoires sont choisies en technologie MOS dynamique. En décou-
 pant la mémoire en plans dont les cycles se recouvrent partiellement la
 10 lecture d'un point mémoire peut être faite en 100 ns et la période d'horloge
 T_H est égale à cette valeur, soit une fréquence horloge de 10 MHz.

La fréquence centrale f_0 et la bande B_0 du convoluteur sont choisies
 respectivement égales à 50 MHz et 10 MHz.

La durée MT_H du signal $r(t)$ est égale à 40 μ s et la longueur S_0 est
 15 voisine de 12 cm procurant un encombrement réduit.

Le circuit 56 de la figure 6 comporte une mémoire tampon de 8 bits x
 300 et d'un accumulateur de 16 bits x 300. Une opération d'addition étant
 effectuée dans un temps de 50 ns, période de l'horloge H_T , le temps pour
 sommer 300 échantillons reste inférieur à MT_H c'est-à-dire 40 μ s en
 20 utilisant un seul additionneur.

Une ligne de corrélation bidimensionnelle est donc obtenue en 40 μ s
 x 100, soit 4 ms, en utilisant un seul convoluteur. Bien entendu des vitesses
 de fonctionnement plus élevées peuvent être atteintes en utilisant en
 parallèle plusieurs convoluteurs pour traiter plusieurs lignes en parallèle.

25 A titre de comparaison les circuits numériques les plus rapides
 permettent d'effectuer le calcul d'un point de la fonction de corrélation dans
 le même ordre de grandeur de temps où toute la fonction est reconstituée
 par le dispositif convoluteur c'est-à-dire un rapport de vitesse de l'ordre de
 100.

30 Dans l'exemple indiqué une ligne de la corrélation bidimensionnelle
 entre une ligne de 100 x 100 et une image de 400 x 100 est obtenue en 4 ms
 en utilisant un seul dispositif convoluteur.

Pour un traitement en temps réel, cette durée correspond à la durée
 maximum qu'il faut respecter entre deux corrélations bidimensionnelles

d'images pour deux décalages suivant l'avancement du véhicule. Cette durée correspond à une distance parcourue de l'ordre de 1 mètre à une vitesse de Mach 1 et cette résolution est de l'ordre de grandeur de celle recherchée, en général, pour les systèmes d'exploration du sol.

5 Dans le domaine de l'imagerie acoustique sous-marine, la résolution obtenue à une centaine de mètres est de l'ordre de 15 centimètres. Pour un bateau allant à 20 noeuds la période de renouvellement d'une ligne d'image est égale à 15 ms et seule l'utilisation du dispositif proposé permet d'obtenir la fonction de corrélation bidimensionnelle en temps réel.

10 Suivant une variante de l'invention les mémoires numériques 41, 42, 43 et 44 sont remplacés par des dispositifs à transfert de charges ou C.C.D. Ces dispositifs peuvent avoir 512 étages et être commandés à une fréquence de 10 MHz rendant possible leur utilisation. Egalement un dispositif à transfert de charges peut être utilisé à la place d'un convoluteur acoustique.

15 Pour la corrélation d'images obtenues par des méthodes optiques, cette corrélation se fait sur les intensités et non sur les amplitudes. Dans le cas, l'image de référence et l'image balayée sont stockées respectivement dans une seule mémoire telle que 40 et 42 de la figure 5.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de corrélation bidimensionnelle entre une image de référence d'un plan Oxy et ayant des lignes orientées suivant la direction Ox et une image obtenue par balayage dans le plan Oxy, les lignes balayées étant parallèles à Ox, caractérisé par le fait que le dispositif comporte, d'une part un corrélateur recevant simultanément sur ses deux entrées les deux signaux électriques d'une ligne de l'image de référence et d'une ligne de l'image balayée fournissant une ligne de corrélation monodimensionnelle formée de points correspondants aux décalages de deux signaux d'entrée et qu'il comporte d'autre part un sommateur effectuant la sommation des signaux pour les points correspondant à un même décalage, pour l'ensemble des lignes de corrélation monodimensionnelles des deux images, le signal de sommation fournissant une ligne de corrélation bidimensionnelle, et que le dispositif fournit une nouvelle ligne de corrélation bidimensionnelle, après chaque nouvelle ligne balayée de l'image obtenue par balayage.

2. Dispositif de corrélation bidimensionnelle suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que les lignes de l'image de référence sont orientées en sens inverse par rapport à l'image obtenue par balayage et que le signal de corrélation est du type convoluteur à ondes de surface et que le corrélateur est un convoluteur analogique.

3. Dispositif de corrélation bidimensionnelle suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que le convoluteur analogique est du type convoluteur à ondes de surfaces.

4. Dispositif de corrélation suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que le convoluteur analogique est du type convoluteur à transfert de charge.

5. Dispositif de corrélation bidimensionnelle suivant les revendications 2 ou 3, caractérisé par le fait que l'image de référence (10) se compose de K lignes de M points et que l'image balayée (11) se compose de L lignes de N points, où $L > K$ et $N < M$, que les K lignes de l'image de référence sont corrélées ligne à ligne avec tous les ensembles de K lignes tels que i à $i + K - 1$ de l'image balayée (11) où $1 \leq i \leq L - K$, fournissant ainsi après sommation pour un même décalage λ suivant Ox, (L-K) lignes de corrélation

(13) de (M-N) points.

5 6. Dispositif de corrélation suivant la revendication 5, caractérisé par le fait que les signaux correspondant à l'image de référence et à l'image balayée sont mis en mémoire dans au moins deux mémoires à accès aléatoire (40, 41, 42, 43), ces mémoires étant lues sous le contrôle d'une horloge H_M , les deux signaux de lignes étant lus l'un suivant O_x et l'autre en sens opposé, et appliqués à des circuits de conversion numérique-analogique (44.1, 44.2, 44.3, 44.4) et les signaux analogiques obtenus étant appliqués à des circuits de mise sur une porteuse de fréquence f_o (45.1, 45.2) et corrélés dans le convoluteur analogique (50), que le signal de corrélation est appliqué à un 10 circuit de démodulation à la fréquence f_o (49), que les signaux démodulés sont appliqués à des convertisseurs analogiques-numériques (55.1, 55.2), suivi d'un circuit sommateur (56) composé d'une mémoire de stockage et d'un accumulateur.

15 7. Dispositif de corrélation suivant la revendication 6, caractérisé par le fait que les signaux de l'image de référence et de l'image balayée sont mis en mémoire avec leurs composantes complexes respectivement dans deux couples de mémoires (40, 41 et 42, 43).

20 8. Dispositif de corrélation suivant la revendication 6 ou 7, caractérisé par le fait que les mémoires de stockage des deux images et des lignes de corrélation sont réalisées par des dispositifs à transfert de charge.

1/4

FIG. 1

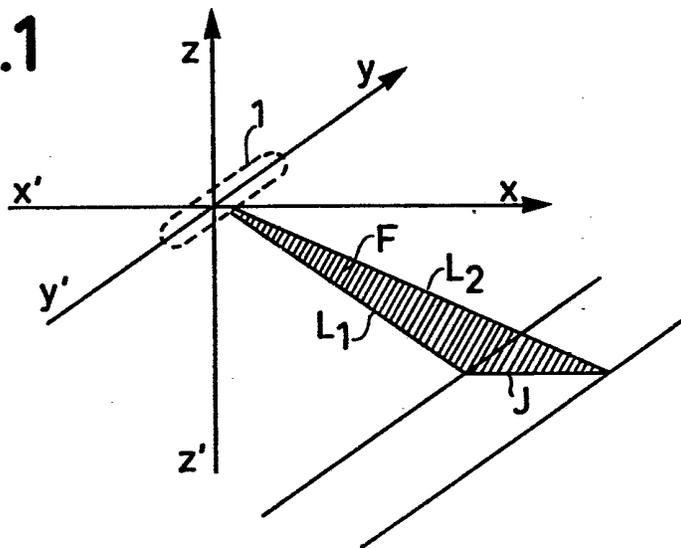


FIG. 2

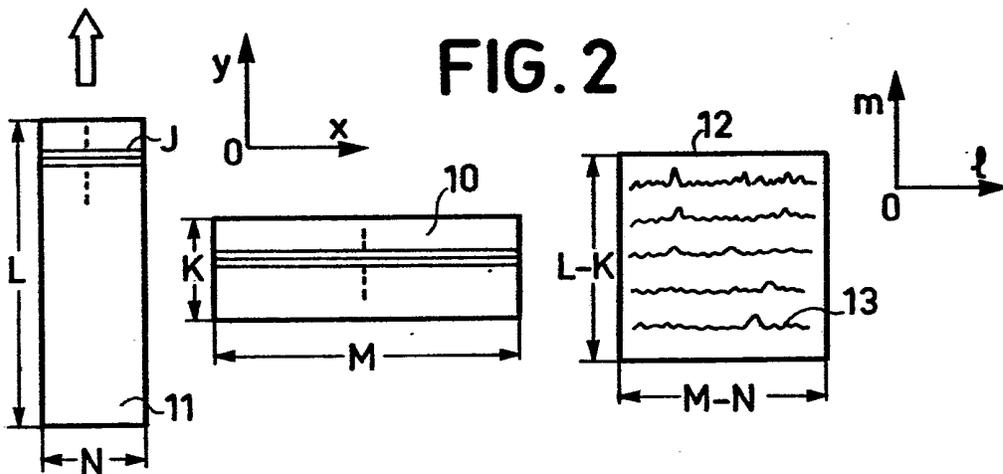
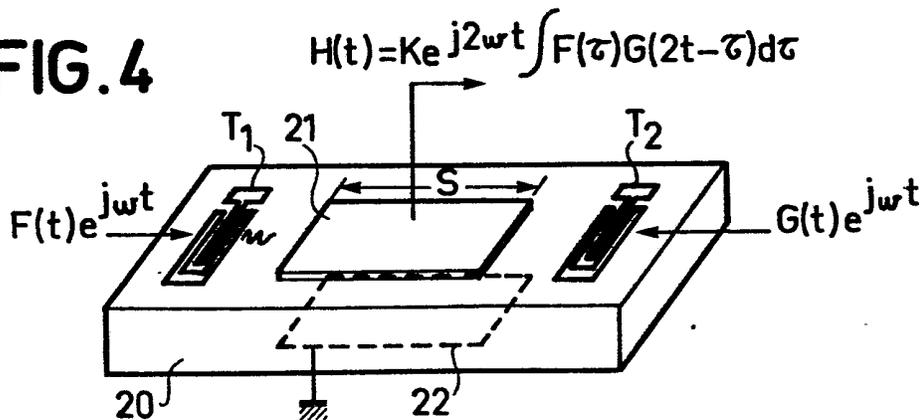


FIG. 4



2/4

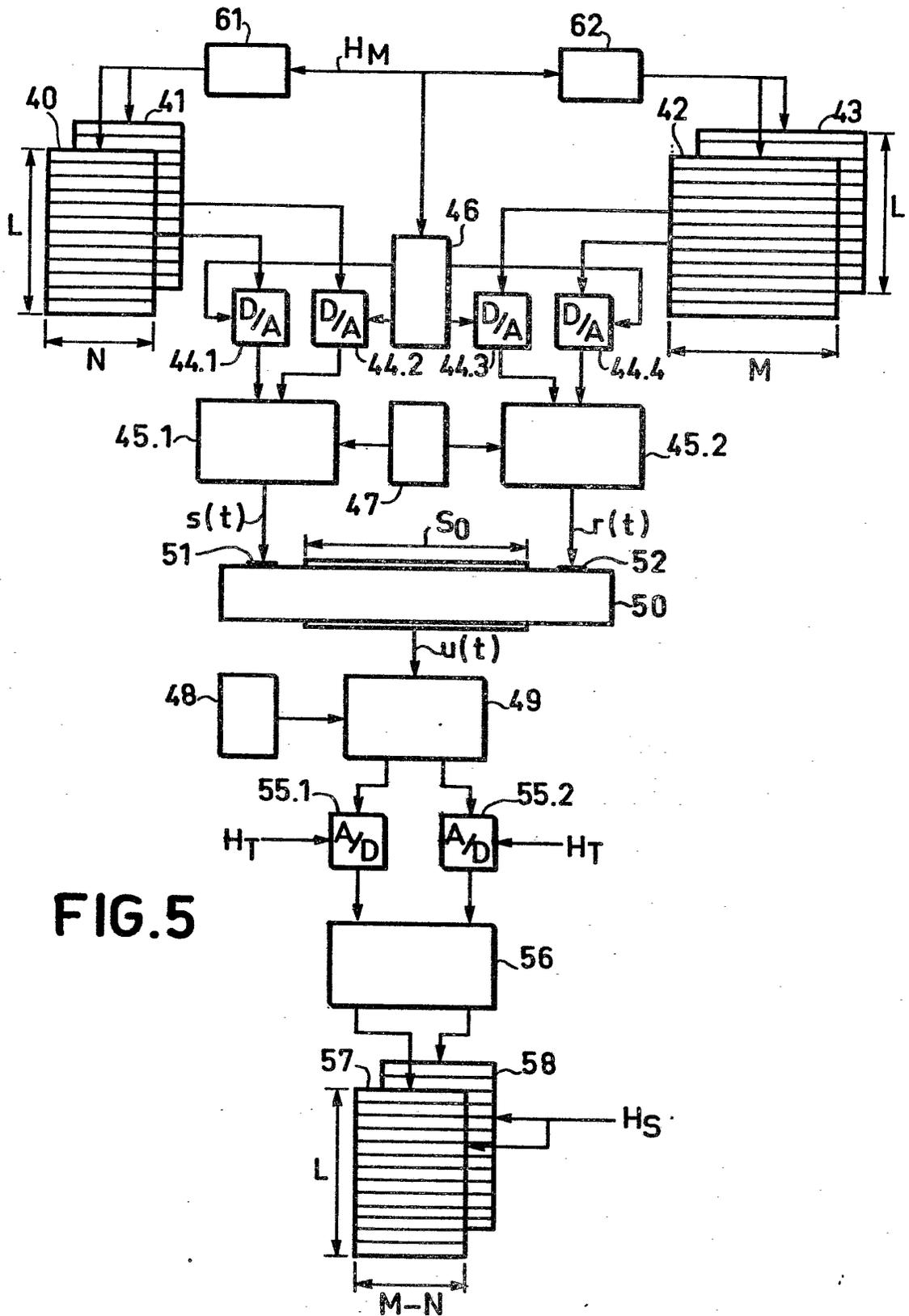


FIG. 5

3/4

FIG. 3

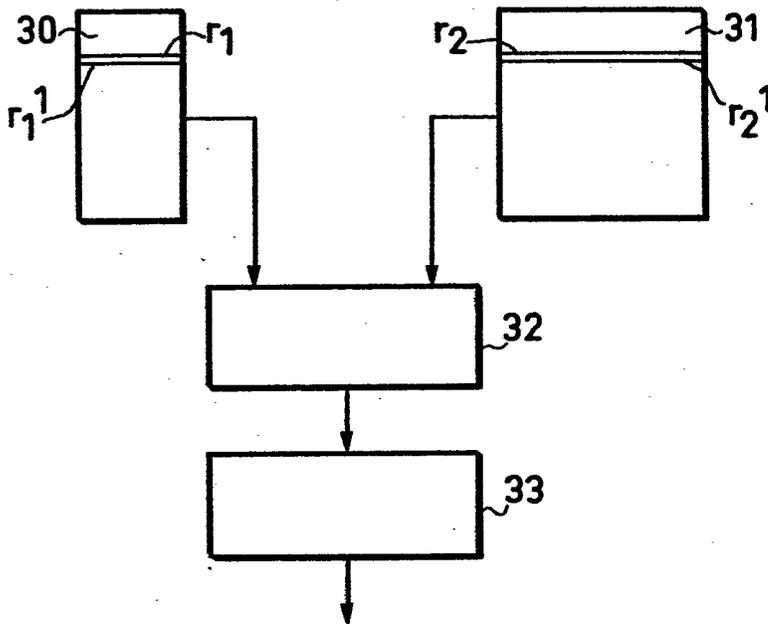
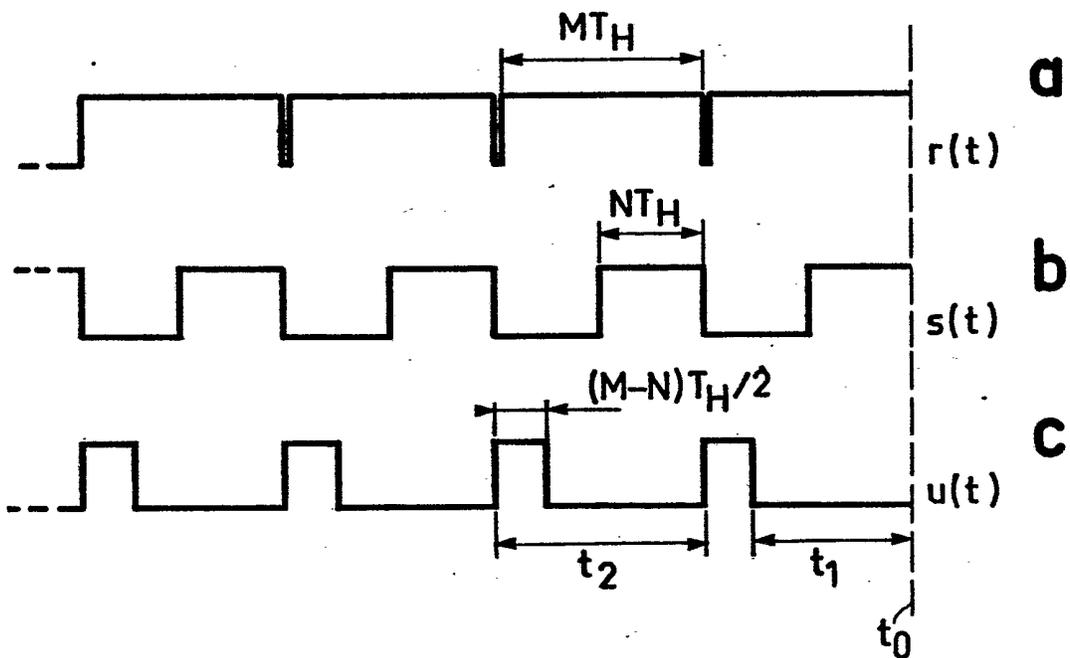
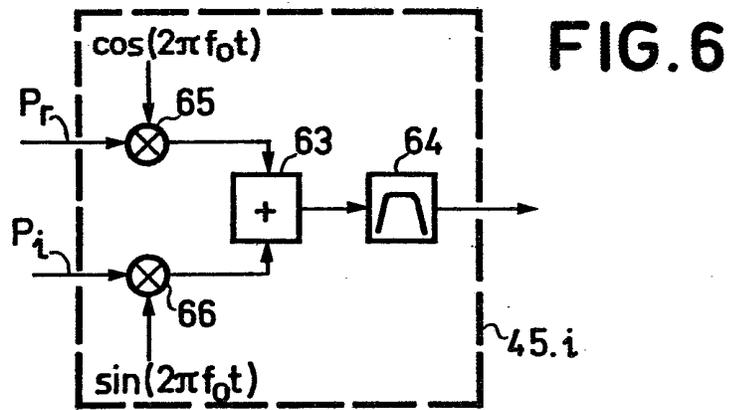


FIG. 7



4/4

**FIG. 8**