



(11) **EP 1 538 416 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**28.07.2010 Bulletin 2010/30**

(51) Int Cl.:  
**F41G 7/22 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **04292843.2**

(22) Date de dépôt: **01.12.2004**

(54) **Procédé et dispositif de reconstruction d'image sur des barrettes de détecteurs**

Verfahren und Vorrichtung zum Wiederaufbau von Bildern auf Detektorstäben

Method and device for reconstruction of images on detector bars

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorité: **01.12.2003 FR 0314089**

(43) Date de publication de la demande:  
**08.06.2005 Bulletin 2005/23**

(73) Titulaire: **SAGEM Défense Sécurité  
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **Richard, Yves  
92370 Chaville (FR)**

(74) Mandataire: **Texier, Christian et al  
Cabinet Régimbeau  
20, rue de Chazelles  
75847 Paris Cedex 17 (FR)**

(56) Documents cités:  
**EP-A- 0 561 163 US-A- 5 529 262  
US-A- 5 669 581**

**EP 1 538 416 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

### DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

**[0001]** La présente invention concerne un procédé de reconstitution d'image acquise grâce à des barrettes de détecteurs montées sur un projectile.

### ETAT DE L'ART

**[0002]** Des projectiles peuvent être autoguidés sur une cible en mouvement lorsque cette dernière dégage de la chaleur - par exemple la chaleur de propulseurs ou de moteurs - grâce à un dispositif de détection de points chauds embarqué sur le projectile. Une fois le point chaud repéré, le projectile ajuste sa trajectoire sur le point chaud pour atteindre sa cible.

**[0003]** La figure 1 montre schématiquement une coupe longitudinale du plan focal d'un dispositif de détection de points chauds de l'état de la technique.

**[0004]** Comme le montre la figure 1, le dispositif de détection de points chauds comporte classiquement quatre barrettes 1 de détection de forme rectangulaire et placées les unes par rapport aux autres pour former une croix grecque régulière centrée sur l'axe longitudinal 2 du dispositif. Les barrettes 1 sont placées dans le plan focal du dispositif de détection. Leur longueur est égale au champ de l'optique, et leur largeur approximativement au diamètre de la tache image (réponse percutielle) de l'optique. Les barrettes 1 sont fixes par rapport au projectile symbolisé par le repère ortho normal 3 lui-même centré sur l'axe 2.

**[0005]** Comme les barrettes 1 sont fixes par rapport au repère 3, pour pouvoir observer la scène, on fait tourner l'axe optique 6 du dispositif autour de l'axe 2 selon la flèche référencée par 5, l'axe optique 6 étant à une distance R de l'axe 2. La trajectoire de l'axe 6 dans le plan focal est représentée par le cercle 4.

**[0006]** Lors de cette rotation 5 de l'axe optique 6 autour de l'axe 2, les barrettes 1 détectent un point chaud. La détection et le positionnement de ce point chaud par rapport au projectile permettent au projectile de se diriger vers le point chaud et par conséquent la cible.

**[0007]** De tels dispositifs, conformément à ce qui est mentionné au sein du préambule de la première revendication indépendante de cette présente demande, sont déjà connus et décrits par le document de demande de brevet: EP 0561163, déposée au nom de la Deutsche Aerospace Aktiengesellschaft, sous le numéro de dépôt de demande: EP 19930102363, en date du 16 Février 1993 (1993-02-16), publié en date du 22 Septembre 1993 (1993-09-22) avec, comme priorité revendiquée, la demande: DE 19924208516, déposée le 17 Mars 1992 (1992-03-17) en y mentionnant Wladimir Sardanowsky comme inventeur et cité dans la présente demande à titre d'exemple.

**[0008]** Les dispositifs de détection et les procédés de traitement de signal permettant le positionnement de

points chauds précédents présentent cependant des inconvénients.

**[0009]** En effet, la technique antérieure ne permet de traiter qu'un seul point chaud.

**[0010]** Ils ne permettent pas de reconstituer une image de la scène autour du projectile.

**[0011]** Par conséquent, la fiabilité des projectiles comportant de tels dispositifs et fonctionnant avec de tels procédés de détection et de traitement de signal n'est pas optimale.

### PRESENTATION DE L'INVENTION

**[0012]** L'invention propose de pallier ces inconvénients.

**[0013]** Un des buts de l'invention est de proposer un procédé permettant de reconstituer une image grâce aux signaux captés sur des barrettes de détecteurs montés sur un projectile.

**[0014]** A cet effet, l'invention propose un procédé de reconstitution d'une image Im acquise grâce à des barrettes de détecteurs montés sur un projectile, caractérisé en ce qu'on reconstitue le vecteur représentatif de l'image Im à partir du vecteur représentatif des signaux B issus des barrettes 1 en résolvant le système linéaire tel que :

$$L \cdot \text{Im} = B$$

où L est la matrice reprenant les signaux issus de chaque barre pour tous les pixels de l'image.

**[0015]** L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible :

- le procédé comporte les étapes selon lesquelles :
  - on numérote les barrettes et on construit le vecteur B en juxtaposant les signaux reçus de chaque barrette (1) en fonction du numéro de barrette ;
  - on divise en pixels le plan dans lequel sont situées les barrettes, les pixels étant situés à l'intersection de lignes et de colonnes et on construit le vecteur Im en juxtaposant les lignes du plan ainsi divisé ; et
  - on construit chaque coefficient  $L_{ij}$  de la matrice L en reportant en colonne pour chaque pixel courant j l'intensité du signal numérisé issu de chaque barrette i pour un point chaud centré sur le pixel j, chaque ligne de L correspondant à un barre et chaque colonne à un pixel ;
- la résolution du système linéaire utilise une méthode du type minimisation d'une fonctionnelle quadratique ;

- la méthode de résolution est une méthode des moindres carrés et en ce que la fonctionnelle est du type

$$\frac{1}{2} \cdot \text{Im}' \cdot L' \cdot L \cdot \text{Im} - \text{Im}' \cdot L' \cdot B$$

où  $\text{Im}^t, L^t$  désignent les transposées de  $\text{Im}$  et de  $L$  ;

- la méthode des moindres carrés comporte une étape :
  - d'initialisation selon laquelle on annule l'image sur tout le champ des barrettes ;
  - de définition d'un seuil initial ; et
  - de bouclage consistant à effectuer :
    - une descente par gradient conjugué,
    - un seuillage de l'image et une mise à zéro des signaux de l'image dont l'intensité est en dessous du seuil ; et
    - un abaissement du seuil ;

la boucle s'arrêtant au bout d'un certain nombre d'itérations ou lorsque l'image reconstituée est suffisamment résolue pour être exploitée par des moyens de traitement et de guidage du projectile ;

- la résolution du système linéaire utilise une méthode du type minimisation ou maximisation d'une fonctionnelle sous contrainte ;
- la méthode de résolution est une maximisation de l'entropie de l'image avec la contrainte  $L \cdot \text{Im} = B$  ;
- la méthode de résolution utilise une technique de reconstruction algébrique multiplicative « MART » ;

**[0016]** L'invention concerne également un dispositif de reconstitution d'image comportant des barrettes de détection et des moyens de traitement aptes à mettre en oeuvre un procédé selon l'invention.

## PRESENTATION DES FIGURES

**[0017]** D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1, déjà commentée, représente une coupe longitudinale d'un plan focal d'un dispositif de détection selon l'art antérieur ;
- la figure 2 représente schématiquement une coupe longitudinale d'un plan focal d'un dispositif de détection selon l'invention ;
- la figure 3 représente schématiquement le trajet d'une barrette devant une scène ;
- la figure 4 représente schématiquement l'échantillonnage du plan des fréquences le long de directions perpendiculaires aux barrettes ;
- la figure 5A montre l'influence du nombre des barrettes et de la taille du champ de l'image sur l'échantillonnage des fréquences ;

- la figure 5B représente schématiquement un mode de réalisation d'un dispositif comportant sept barrettes ;
- les figures 6A et 6B représentent schématiquement une méthode de construction du vecteur  $\text{Im}$ ,
- les figures 7 et 8 représentent schématiquement une méthode de construction de la matrice  $L$  ;
- les figures 9A à 9D représentent schématiquement images reconstituées par un procédé possible, au fur et à mesure des itérations du procédé ;
- la figure 10 représente une mire ; et
- la figure 11 représente une image de la mire de la figure 10 reconstituée par un autre procédé possible après une dizaine d'itérations.

## DESCRIPTION DETAILLEE

### POSITION DU PROBLEME

**[0018]** Dans toute la suite de la description, on ne considère pas un quelconque balayage de la scène par le système d'auto guidage et de reconstitution d'image. Le mouvement relatif du projectile (notamment la rotation sur lui-même) lors du vol n'est donc pas pris en compte.

**[0019]** La figure 2, dont les éléments similaires à la figure 1 portent des références numériques identiques, représente schématiquement une coupe longitudinale d'un plan focal d'un dispositif mettant en oeuvre un procédé selon l'invention.

**[0020]** Ainsi, un dispositif de détection mettant en oeuvre un procédé selon l'invention comporte au moins trois barrettes 1 de détection de forme rectangulaire et placées les unes par rapport aux autres selon au moins trois directions non colinéaires entre elles.

**[0021]** Dans toute la description suivante, sauf mention explicite du contraire, les détecteurs sont orientés radialement, vers l'axe 2 du dispositif, et vers les sommets d'un polygone régulier. Sur la figure 2, les barrettes sont ainsi disposées entre elles en forme de « Y » régulier centré sur l'axe longitudinal 2 du dispositif.

**[0022]** Les barrettes 1 sont placées dans le plan focal du dispositif de détection. Leur longueur est égale au champ de l'optique, et leur largeur approximativement au diamètre de la tache image (réponse percussionnelle) de l'optique. Les barrettes 1 sont fixes par rapport au projectile symbolisé par le repère ortho normal 3 lui-même centré sur l'axe 2.

**[0023]** L'axe optique 6 du dispositif tourne autour de l'axe 2 selon la flèche référencée par 5 grâce à une toupie, l'axe optique 6 étant à une distance  $R$  de l'axe 2. La trajectoire de l'axe 6 dans le plan focal est représentée par le cercle 4.

**[0024]** Lors de cette rotation 5 de l'axe optique 6 autour de l'axe 2, les barrettes 1 acquièrent un signal.

**[0025]** Dans la suite de la présente description, on suppose que la position angulaire de l'axe optique 6 est connue au fur et à mesure de l'acquisition du signal sur les barrettes 1.

[0026] Les angles  $\theta$  de rotation sont donnés par des moyens de mesure reliée à la toupie.

[0027] Lors du déplacement de la toupie, l'axe optique 6 effectue un mouvement de translation circulaire devant les barrettes 1. On peut bien entendu également dire, en changeant de référentiel, que les barrettes 1 effectuent un mouvement de translation circulaire par rapport à l'axe optique 6.

[0028] La figure 3 montre une barrette 1 passant devant l'image 30 de la scène - si l'on prend comme référentiel les axes (Ox, Oy) centré sur l'image 30 - selon une direction 31 de déplacement en translation. L'image 30 de la scène est acquise pendant une étape 32, c'est-à-dire tout au long de la translation selon la direction 31.

[0029] On obtient donc un signal 33.

[0030] On note L l'opérateur qui permet à partir d'une image 30 d'obtenir les signaux issus des barrettes 1.

[0031] On note Im la fonction de x et de y dans le plan focal qui représente l'image de la scène que l'on cherche à obtenir. La fonction Im représente donc l'image 30 sur la figure 3.

[0032] On note B les signaux obtenus sur les barrettes 1. La fonction B représente donc les signaux 33 de la figure 3.

[0033] On rappelle que l'on cherche à déterminer Im à partir de B, c'est-à-dire reconstituer une image de la scène à partir d'un signal reçu par des barrettes.

[0034] L'équation du problème que l'on cherche à résoudre peut être ainsi écrite :

$$(1) L.Im=B.$$

[0035] On voit donc que la résolution de l'équation (1) peut s'effectuer au moyen d'un calcul numérique.

[0036] Le fait d'effectuer une intégration sur toute la longueur de la barrette 1 s'apparente à une technique d'acquisition de mesures utilisée en tomographie. La tomographie est utilisée dans le domaine médical notamment.

[0037] Cette caractéristique d'acquisition des mesures permet d'utiliser une méthode de reconstruction d'image tomographique.

[0038] Tout d'abord, l'équation (1) met en valeur l'aspect linéaire du problème et suppose la linéarité des barrettes.

[0039] De plus, la résolution numérique de ce problème nécessite une discrétisation du plan focal. On a en effet besoin d'un procédé discret de reconstruction tomographique, qui s'appuie par définition et contrairement aux méthodes analytiques, sur une modélisation discrète de l'image à reconstruire et des mesures.

[0040] Enfin, on verra dans la suite de la présente description que le pouvoir séparateur intrinsèque du traitement du signal lors de la mise en oeuvre d'un procédé est limité par le nombre et la dimension des barrettes.

## ECHANTILLONNAGE DANS L'ESPACE DES FREQUENCES

[0041] D'un point de vue théorique, les signaux issus des barrettes sont directement liés à la transformée de Fourier de l'image analysée.

[0042] De part la linéarité de l'équation (1), un procédé selon l'invention peut utiliser une étape qui s'apparente à une transformée de Radon.

[0043] On rappelle en effet qu'on effectue dans un procédé selon l'invention une intégration 32 de l'intensité du signal acquis sur les barrettes, et ce sur toute la longueur de chaque barrette 1 lors de sa translation 31. On obtient alors ensuite une reconstitution d'une image correspondant à un tel signal 33 acquis.

[0044] Si on applique à ce signal 33 une transformée 34 de Fourier à une dimension - notée  $TF_1$  dans la suite de la présente description, alors on obtient sensiblement un échantillonnage de l'espace des fréquences 300 sur une droite 310. L'espace des fréquences  $f_x$  et  $f_y$  représente la transformée de Fourier à deux dimensions de l'image 30 - notée  $TF_2$  dans la suite de la présente description.

[0045] Plus précisément, dans l'hypothèse de barrettes 1 de longueur infinie, on peut écrire, sans tenir compte des caractéristiques des barrettes 1 représentées usuellement par les gains et les décalages ou « offsets » selon la terminologie de l'homme du métier :

$$(2) TF_1(S_k) = TF_2(I)(\vec{n}(\theta_k)) \times TF_1(Det)$$

avec les notations suivantes :

I (image) désigne l'éclairement ( $W/m^2$ ) du plan focal ;

$TF_1$  désigne la transformée de Fourier à une dimension ;

$TF_2$  désigne la transformée de Fourier à deux dimensions ;

$S_k$  désigne le signal issu du détecteur k en fonction du déplacement de l'image ;

$\vec{n}(\theta_k)$  est la direction perpendiculaire au grand côté du détecteur k, à savoir la direction 31 dans le cas de la barrette 1 de la figure 3 ; et

Det désigne la fonction de transfert de la forme du détecteur, typiquement une fonction rectangle dont la largeur est la largeur du détecteur.

[0046] Le paramètre de calcul est le déplacement de l'image suivant  $\vec{n}(\theta_k)$ .

[0047] La figure 4 montre que l'image 300 dans l'espace de Fourier d'une image acquise par des barrettes dans l'espace réel est d'autant mieux échantillonnée que

le nombre de barrettes dans l'espace réel est important. On rappelle que la direction d'échantillonnage dans l'espace des fréquences est perpendiculaire à la direction d'extension de la barrette dans l'espace réel.

**[0048]** On comprend grâce à la figure 4 qu'il est préférable d'avoir un nombre important de barrettes pour avoir une meilleure reconstitution.

**[0049]** Dans l'exemple de la figure 4, on a cinq directions d'échantillonnage 41, 42, 43, 44 et 45. Cela signifie que cinq barrettes sont placées dans le plan focal.

**[0050]** La figure 4 montre également que la largeur D des barrettes intervient comme une convolution de l'image dans l'espace des fréquences par un disque 50 dont le diamètre est  $1/D$ .

**[0051]** L'influence de la largeur des barrettes 1 sur le nombre de barrettes à disposer dans le plan focal est détaillée dans la suite de la présente description.

**[0052]** Le dispositif de mise en oeuvre du procédé selon l'invention comporte en général préférentiellement sept barrettes.

#### PRINCIPE DE RESOLUTION.

**[0053]** On rappelle que pour pouvoir résoudre l'équation (1), il faut effectuer une discrétisation du plan focal.

**[0054]** La figure 6A montre ainsi schématiquement que l'on divise l'image 60 acquise par les barrettes 1 en pixels référencés par 600. On définit ainsi des lignes, que l'on référence par 61, 62, 63 et 64 sur la figure 6A.

**[0055]** On effectue de plus une numérotation de chaque pixel de l'image 60. Chaque pixel 600 de l'image 60 porte ainsi un numéro.

**[0056]** La figure 6B montre que l'on représente alors l'image 600 comme un vecteur 65 en mettant les unes après les autres les lignes 61 à 64 par exemple.

**[0057]** De même, on construit un vecteur B représentatif de B de l'équation (1) en juxtaposant les signaux reçus de chaque barrette 1 après avoir numéroté les barrettes. La juxtaposition des signaux dans le vecteur B est effectuée en fonction des numéros des barrettes.

**[0058]** La figure 7 montre que l'opérateur L de l'équation (1) est représenté par sa matrice.

**[0059]** La figure 7 montre que chaque ligne de la matrice L correspond à une barrette courante i du plan focal. Chaque colonne de la matrice L correspond à un pixel j.

**[0060]** On reporte alors, en colonne et pour chaque pixel courant j du plan focal, l'intensité du signal numérisé issu de chaque barrette i pour un point chaud centré sur le pixel j lors d'un tour de toupie. L'évolution de cette intensité sur une barrette i lors d'un tour de toupie est schématisée à la figure 8.

**[0061]** On obtient alors la matrice de L.

**[0062]** On rappelle que l'équation (1) s'écrit :

$$(1) L \cdot \text{Im} = B$$

**[0063]** On comprend alors qu'avec la connaissance de la matrice de L et du vecteur de B, le problème de reconstitution d'image est ramené à la résolution d'un système linéaire représentatif de l'équation (1).

**[0064]** D'une manière générale, le système de l'équation (1) n'est pas inversible et admet une infinité de solutions, du fait que la matrice L est rectangulaire.

**[0065]** Plusieurs méthodes de résolution sont possibles pour faciliter la résolution de cette équation.

**[0066]** Les performances d'un dispositif mettant en oeuvre un procédé selon l'invention seront alors conditionnées, outre les caractéristiques physiques du dispositif, par les étapes de résolution utilisées pour le système linéaire, ainsi que par la pertinence du paramétrage du problème pour la résolution.

**[0067]** Dans toutes les simulations numériques qui vont suivre, les dimensions des barrettes sont (en  $\mu\text{m}$ )  $700 \times 100$  et le plan représenté est un carré de côté  $750 \mu\text{m}$ . Ces dimensions sont données à titre indicatif non limitatif et dépendent des dimensions du champ du système optique.

#### PREMIER EXEMPLE DE PROCEDE

**[0068]** Un premier mode de réalisation possible d'un procédé selon l'invention consiste à minimiser une fonctionnelle quadratique au lieu de résoudre directement l'équation (1).

**[0069]** De préférence, on minimise l'erreur quadratique entre les mesures et l'image attendue. Cette méthode est appelée méthode des moindres carrés par l'homme du métier.

**[0070]** Plusieurs fonctionnelles différentes peuvent être utilisées dans une méthode des moindres carrés.

**[0071]** De préférence, on cherche à minimiser la fonctionnelle définie par :

$$(3) \frac{1}{2} \cdot \text{Im}' \cdot L' \cdot L \cdot \text{Im} - \text{Im}' \cdot L' \cdot B$$

où  $\text{Im}'$ ,  $L'$  désignent les transposées de Im et de L.

**[0072]** Ainsi, selon le procédé possible, on définit lors d'une étape d'initialisation que l'image de départ est nulle dans tout le champ des détecteurs.

**[0073]** On définit un seuil initial. Le seuil dépend des applications et des barrettes d'acquisition. Dans notre exemple, il peut être fixé à  $1/2$ .

**[0074]** On reprend ensuite en boucle la séquence suivante :

- descente par gradient conjugué connu de l'homme du métier,
- seuillage de l'image et mise à zéro des signaux de l'image dont l'intensité est en dessous du seuil ;
- abaissement du seuil.

**[0075]** La boucle s'arrête au bout d'un certain nombre d'itérations ou lorsque l'image reconstituée est suffisamment résolue pour être exploitée par les moyens de traitement et de guidage du projectile.

**[0076]** Bien entendu, d'autres étapes de descente de gradients peuvent être utilisées dans un procédé selon l'invention. Il peut notamment s'agir d'une méthode de descente de gradients simple ou à pas optimal par exemple.

**[0077]** Le fait d'effectuer un seuillage de l'image permet d'éviter la formation de signaux parasites sur l'image et d'assurer une meilleure convergence du calcul.

**[0078]** Le fait d'abaisser le seuil à chaque itération du calcul permet de maîtriser la limite des itérations.

**[0079]** On peut ainsi définir le seuil  $s$  par

$$(4) s = 1/2n$$

où  $n$  est le numéro de l'itération.

**[0080]** Les figures 9A à 9D montrent les résultats des quatre premières itérations d'un procédé utilisant la méthode des moindres carrés.

**[0081]** Dans cet exemple, l'image est divisée en 1600 pixels. Le plan focal comporte deux points chauds 91 et 92 de même intensité et visibles notamment sur la figure 9D. Le calcul prend en compte le traitement du signal, notamment l'élimination d'une composante basse fréquence.

**[0082]** La figure 9A est l'image reconstituée après une itération avec un seuil égal à  $1/2$ .

**[0083]** La figure 9B est l'image reconstituée après deux itérations avec un seuil égal à  $1/4$ .

**[0084]** La figure 9C est l'image reconstituée après trois itérations avec un seuil égal à  $1/6$ .

**[0085]** La figure 9D est l'image reconstituée après quatre itérations avec un seuil égal à  $1/8$ .

**[0086]** On voit ainsi que le procédé de calcul permet une convergence rapide vers une image reconstituée de la scène.

#### DEUXIEME EXEMPLE DE PROCEDE

**[0087]** Un deuxième mode de réalisation possible d'un procédé selon l'invention consiste à utiliser une méthode de résolution du type maximisation ou de minimisation d'une fonctionnelle sous contrainte.

**[0088]** Cette contrainte permet de choisir une solution acceptable parmi une infinité de solutions possibles à l'équation (1).

**[0089]** Il peut en effet y avoir une infinité de solutions lors d'une sous-détermination dans les mesures.

**[0090]** Une telle sous-détermination peut se produire lorsque les mesures sont d'un nombre limité, à savoir lors d'une acquisition rapide de la scène par les barrettes, ou lorsque les mesures sous certaines incidences ne sont pas accessibles ou exploitables.

**[0091]** Un procédé de maximisation ou de minimisation d'une fonctionnelle sous contrainte peut bien entendu être utilisé dans tous les cas d'acquisition.

**[0092]** Dans un procédé de résolution sous contrainte, on utilise de préférence une méthode de résolution du type Technique de reconstruction algébrique « ART » (Algebraic Reconstruction Technique) ou Technique de reconstruction algébrique multiplicative « MART » (Multiplicative Algebraic Reconstruction Technique) selon la terminologie généralement utilisée par l'homme du métier.

**[0093]** De préférence, on utilise une méthode de type MART.

**[0094]** Cette méthode de résolution peut s'interpréter comme une minimisation ou une maximisation sous contrainte avec un critère entropique.

**[0095]** Un procédé selon l'invention fait en effet converger la solution vers un maximum d'entropie de l'image avec la contrainte donnée par l'équation (1).

**[0096]** Dans une méthode de type MART, on corrige à chaque itération un ensemble de mesures pour obtenir rapidement une solution.

**[0097]** Cependant; cet ensemble de mesures est uniquement, situé au niveau d'une barrette donnée. On ne corrige donc pas à chaque itération toutes les mesures sur l'image définie sur la figure 6A, ce qui assure la rapidité de la convergence.

**[0098]** L'ensemble de mesures à corriger est ensuite déplacé à chaque itération en fonction du déplacement de la barrette considérée par rapport à la scène.

**[0099]** On renouvelle bien entendu les étapes du procédé précédemment décrit pour chacune des barrettes.

**[0100]** Les principes de la méthode MART sont décrits ci-après.

**[0101]** Pour chaque pixel  $k$  compris dans la barrette considérée, la correction de l'image lors de l'itération  $n+1$  du procédé s'effectue sensiblement par une multiplication

de l'image  $I_n^{(k)}$  obtenue au pixel  $k$  après correction

lors d'une itération  $n$  par le rapport du signal  $B_n$  reçu par une barrette donnée en ce pixel  $k$  lors de l'itération  $n$  d'une part au signal  $R_n$  reconstitué sur l'ensemble de la barrette donnée lors de l'itération  $n$  d'autre part.

**[0102]** On a donc une expression de la forme :

$$(5) I_{n+1}^{(k)} = I_n^{(k)} \cdot \left[ \frac{B_n}{R_n} \right]^{L_{nk} \cdot \lambda_{nk}}$$

où  $I_{n+1}^{(k)}$  est l'image au pixel  $k$  à l'itération  $n+1$  ;

$I_n^{(k)}$  est l'image au pixel  $k$  à l'itération  $n$  ;

$L_{nk}$  est un opérateur valant 0 dans les calculs faisant intervenir des coefficients de la matrice L ne concernant pas un pixel compris dans la barrette considérée, et 1 dans les calculs faisant intervenir des coefficients de la matrice L concernant un pixel compris dans la barrette considérée ;

$\lambda_{nk}$  est un coefficient permettant de régler la convergence des itérations en répartissant la correction sur l'ensemble des pixels de la barrette considérée ; et

$R_n$  est défini par une relation du type :

$$(6) R_n = \sum_j L_{nj} \cdot I_n^{(j)}$$

dans laquelle l'indice j de la sommation indique que l'on somme les  $L_{nj}$  sur l'ensemble des pixels j de la barrette considérée.

[0103]  $R_n$  représente donc le signal que donne l'image reconstituée sur la barrette considérée.

[0104] Il est entendu que lorsque n désigne un indice de matrice, il décrit les indices de chaque matrice cycliquement, modulo la taille de la matrice. L'indice n n'est donc pas limité par la taille des matrices dans les itérations.

[0105] D'après (6), l'équation (5) peut également s'écrire :

$$(7) I_{n+1}^{(k)} = I_n^{(k)} \cdot \left[ \frac{B_n}{\sum_j L_{nj} \cdot I_n^{(j)}} \right]^{L_{nk} \cdot \lambda_{nk}}$$

$\lambda_{nk}$  permet d'effectuer un moyennage de la correction sur l'ensemble des pixels de la barrette. On assure ainsi une conservation de l'énergie lors des différentes itérations et on permet la convergence du procédé itératif.

[0106] On peut définir  $\lambda_{nk}$  par l'expression:

$$\lambda_{nk} = \frac{1}{\sum_k L_{nk}}$$

[0107] Les itérations sont arrêtées lorsqu'un nombre d'itérations est atteint ou lorsque l'image reconstituée est suffisamment résolue pour être exploitée par les moyens de traitement et de guidage du projectile.

[0108] La figure 10 montre ainsi l'image d'une mire comportant des motifs remarquables 100.

[0109] La figure 11 montre l'image reconstituée de la mire de la figure 10 après une dizaine d'itérations du

procédé. On y distingue clairement les images 110 reconstituées des motifs 100.

[0110] D'autres méthodes de résolutions du système de l'équation (1) sont bien entendu possibles.

#### NOMBRE DE BARRETTES DANS LE PLAN FOCAL

[0111] On rappelle que du fait de la taille limitée du champ de l'image, et si l'on appelle D le diamètre du champ circulaire dans l'espace réel, les images subissent une convolution par un disque 50 dont le diamètre est en 1/D dans l'espace des fréquences.

[0112] Prenons l'exemple d'une sinusoïde dans l'espace réel, cette sinusoïde étant vue par le disque de diamètre D. Alors l'image de cette sinusoïde tronquée est un disque de diamètre 1/D dans l'espace des fréquences.

[0113] Or, la figure 4 montre clairement que les fréquences élevées ont moins de chances d'être perçues par l'échantillonnage donné par les droites 41 à 45 par exemple, puisqu'elles s'éloignent du centre du repère (Ofx, Ofy).

[0114] Ainsi, plus les fréquences sont élevées, moins le disque 50 de convolution a de chances d'être perçu par l'échantillonnage.

[0115] En référence à la figure 5A, le disque 50 est détecté, dans le pire des cas, lorsque il est tangent à deux droites en même temps.

[0116] En première approximation, on a la relation :

$$(8) \tan\left(\frac{\Theta}{2}\right) = \frac{1}{2D} \cdot \frac{1}{f_{\max}}$$

où  $\Theta$  est l'angle entre deux barrettes successives ; et  $f_{\max}$  est la fréquence max que l'on détecte.

[0117] On a, en approximant la tangente à son angle :

$$(9) \Theta = \frac{1}{f_{\max} D}$$

[0118] On souhaite avoir :

$$(10) f_{\max} \geq \frac{1}{D}$$

pour pouvoir observer plus d'une période de la sinusoïde

dans l'espace réel.  $\frac{1}{f_{\max} \cdot D}$  doit donc être inférieur à 1.

[0119] Or, comme on a par définition :

$$(11) \quad \Theta = \frac{2\pi}{n},$$

où n est le nombre de barrettes.

[0120] D'après (10) et (11),  $\frac{2\pi}{n}$  doit être inférieur à 1.

[0121] Par conséquent, n est préférentiellement supérieur ou égal à 7.

[0122] Le dispositif de mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention comporte ainsi préférentiellement sept barrettes 1 également réparties, comme le montre la figure 5B.

## Revendications

1. Procédé de reconstitution d'une image (Im) acquise grâce à des barrettes (1) de détecteurs montés sur un projectile, **caractérisé en ce qu'on** reconstitue le vecteur représentatif de l'image (Im) à partir du vecteur représentatif des signaux (B) issus des barrettes (1) en résolvant le système linéaire tel que :

$$L \cdot \text{Im} = B$$

où L est la matrice reprenant les signaux issus de chaque barrette pour tous les pixels de l'image.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes selon lesquelles :

- on numérote les barrettes et on construit le vecteur B en juxtaposant les signaux reçus de chaque barrette (1) en fonction du numéro de barrette ;
- on divise en pixels le plan dans lequel sont situées les barrettes, les pixels étant situés à l'intersection de lignes et de colonnes et on construit le vecteur Im en juxtaposant les lignes du plan ainsi divisé ; et
- on construit chaque coefficient  $L_{ij}$  de la matrice L en reportant en colonne pour chaque pixel courant j l'intensité du signal numérisé issu de chaque barrette i pour un point chaud centré sur le pixel j, chaque ligne de L correspondant à une barrette et chaque colonne à un pixel.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la résolution du système linéaire utilise une méthode du type minimisation d'une fonctionnelle quadratique.

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en**

**ce que** la méthode de résolution est une méthode des moindres carrés et **en ce que** la fonctionnelle

est du type  $\frac{1}{2} \cdot \text{Im}' \cdot L' \cdot L \cdot \text{Im} - \text{Im}' \cdot L' \cdot B$

où  $\text{Im}^t$ ,  $L^t$  désignent les transposées de Im et de L.

5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la méthode des moindres carrés comporte une étape :

- d'initialisation selon laquelle on annule l'image sur tout le champ des barrettes ;
- de définition d'un seuil initial et
- de bouclage consistant à effectuer :
  - une descente par gradient conjugué,
  - un seuillage de l'image et une mise à zéro des signaux de l'image dont l'intensité est en dessous du seuil ; et
  - un abaissement du seuil ;

la boucle s'arrêtant au bout d'un certain nombre d'itérations ou lorsque l'image reconstituée est suffisamment résolue pour être exploitée par des moyens de traitement et de guidage du projectile.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la résolution du système linéaire utilise une méthode du type minimisation ou maximisation d'une fonctionnelle sous contrainte.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la méthode de résolution est une maximisation de l'entropie de l'image avec la contrainte  $L \cdot \text{Im} = B$ .

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la méthode de résolution utilise une technique de reconstruction algébrique multiplicative « MART ».

9. Dispositif de reconstitution d'image, **caractérisé en ce qu'il** comporte des barrettes de détection et des moyens de traitement aptes à mettre en oeuvre le procédé selon l'une des revendications 1 à 8.

10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce qu'il** comporte sept barrettes disposées radialement par rapport à l'axe du dispositif et non colinéaires entre elles.

## Claims

1. Method to reconstruct an image (Im) acquired by means of arrays (1) of detectors mounted on a projectile, **characterized in that** the vector represen-



tive of the image (Im) is reconstructed from the vector representative of the signals (B) derived from the arrays (1) by solving the linear system such that

$$L \cdot Im = B$$

in which L is the matrix reproducing the signals derived from each array for all the pixels of the image.

2. Method according to claim 1, **characterized in that** it comprises the steps according to which:

- the arrays are numbered and the vector B is constructed by juxtaposing the signals received from each array (1) in relation to the array number;
- the plane in which the arrays are located is divided into pixels, the pixels lying at the intersection of rows and columns, and the vector Im is constructed by juxtaposing the rows of the plane thus divided; and
- each coefficient  $L_{ij}$  of the matrix L is constructed by adding to the column, for each current pixel j, the intensity of the digitized signal derived from each array i for a hot point centred on the pixel j, each row of L corresponding to an array and each column to a pixel.

3. Method according to either of claims 1 or 2, **characterized in that** the solving of the linear system uses a method of the type minimization of a quadratic function.

4. Method according to claim 3, **characterized in that** the solving method is a least squares method and **in that** the function is of the type

$$\frac{1}{2} \cdot Im^t \cdot L^t \cdot L \cdot Im - Im^t \cdot L^t \cdot B \quad \text{in which}$$

$Im^t$ ,  $L^t$  designate the transposes of Im and L.

5. Method according to claim 4, **characterized in that** the least squares method comprises the steps of:

- resetting, in which the image over the entire field of the arrays is cancelled;
- defining an initial threshold; and
- executing a loop, consisting of performing:
  - conjugate gradient descent,
  - image thresholding and zeroing of the signals of the image whose intensity lies below the threshold; and
  - lowering the threshold;

the loop stopping after a certain number of iterations or when the reconstructed image is sufficiently solved for use thereof by processing and projectile guiding means.

6. Method according to either of claims 1 or 2, **characterized in that** the solving of the linear system uses a method of constrained minimization or maximization of a function.

7. Method according to claim 6, **characterized in that** the solving method uses maximum-entropy of the image with the constraint  $L \cdot Im = B$ .

8. Method according to claim 7, **characterized in that** the solving method used is a multiplicative algebraic reconstruction technique "MART".

9. Image reconstruction technique, **characterized in that** it comprises detection arrays and processing means capable of applying the method according to any of claims 1 to 8.

10. Device according to claim 9, **characterized in that** it comprises seven arrays arranged radially relative to the axis of the device and non-colinear with each other.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Wiederaufbau eines Bildes (Im), das mit auf einem Projektil montierten Detektorstäben (1) erfasst wurde, **dadurch gekennzeichnet, dass** der für das Bild (Im) repräsentative Vektor aus dem für die Signale (B) der Stäbe (1) repräsentativen Vektor durch Auflösung des linearen Systems wieder aufgebaut wird derart, dass:

$$L \cdot Im = B$$

wobei L die Matrix ist, die die von jedem Stab für alle Pixel des Bildes ausgehenden Signale übernimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es die Schritte umfasst, gemäß denen:

- die Stäbe nummeriert werden und der Vektor B durch Aneinanderreihung der von jedem Stab (1) empfangenen Signale in Abhängigkeit von der Stabnummer konstruiert wird,
- die Ebene, in der sich die Stäbe befinden, in Pixel unterteilt wird, wobei sich die Pixel am Schnittpunkt von Zeilen und Spalten befinden und der Vektor Im durch Aneinanderreihen der

- Zeilen der derart unterteilten Ebene konstruiert wird, und  
 - jeder Koeffizient  $L_{ij}$  der Matrix L durch Übertragung in die Spalte für jedes laufende Pixel j der Intensität des digitalisierten Signals jedes Stabs i für einen auf das Pixel j zentrierten warmen Punkt konstruiert wird, wobei jede Zeile von L einem Stab und jede Spalte einem Pixel entspricht.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auflösung des linearen Systems eine Methode vom Typ Minimierung einer quadratischen Funktion verwendet.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Methode der Auflösung eine Methode der kleinsten Quadrate ist und dass die Funktion vom Typ  $1/2 \cdot \text{Im}^t \cdot L^t - L \cdot \text{Im} - \text{Im}^t - L^t - B$  ist, wobei  $\text{Im}^t$ ,  $L^t$  die transponierte Matrix von Im und von L bezeichnen.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Methode der kleinsten Quadrate einen Schritt umfasst:
- der Initialisierung, gemäß der das Bild auf dem gesamten Feld der Stäbe annulliert wird,
  - der Definition einer Ausgangsschwelle, und
  - der Schleifenbildung, die darin besteht, durchzuführen:
- einen Abstieg je konjugierten Gradienten,
  - eine Bildsegmentierung im Schwellwertverfahren und eine Nullstellung der Signale des Bildes, deren Intensität sich unterhalb des Schwellwerts befindet, und
  - ein Absenken der Schwelle,
- wobei die Schleife am Ende einer bestimmten Anzahl von Iterationen stoppt oder wenn die Auflösung des wieder aufgebauten Bildes ausreichend ist, um durch Bearbeitungs- und Lenkungsmittel des Projektils verwendet zu werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auflösung des linearen Systems eine Methode vom Typ Minimierung oder Maximierung einer Funktion unter Constraint verwendet.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Methode der Auflösung eine Maximierung der Entropie des Bildes mit dem Constraint  $L \cdot \text{Im} = B$  ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Methode der Auflösung eine multiplikative algebraische Rekonstruktionstechnik "MART" verwendet.
9. Vorrichtung zum Bildwiederaufbau, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Detektorstäbe und Verarbeitungsmittel umfasst, die imstande sind, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 umzusetzen.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie sieben im Verhältnis zur Achse der Vorrichtung radial angeordnete, zueinander nicht kollineare Stäbe umfasst.

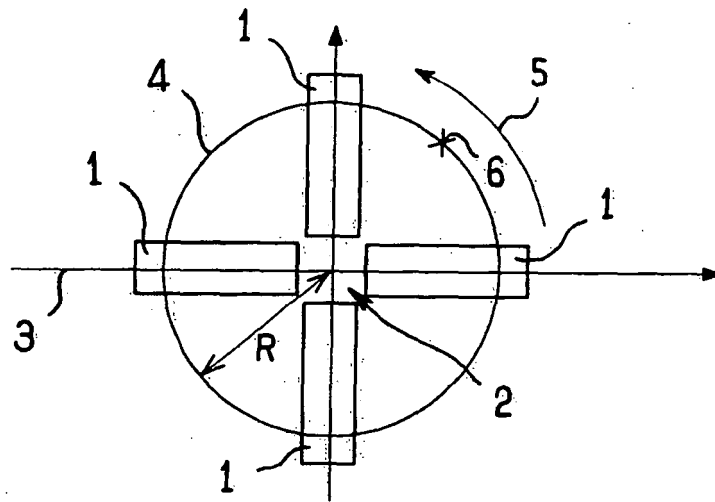


FIG.1

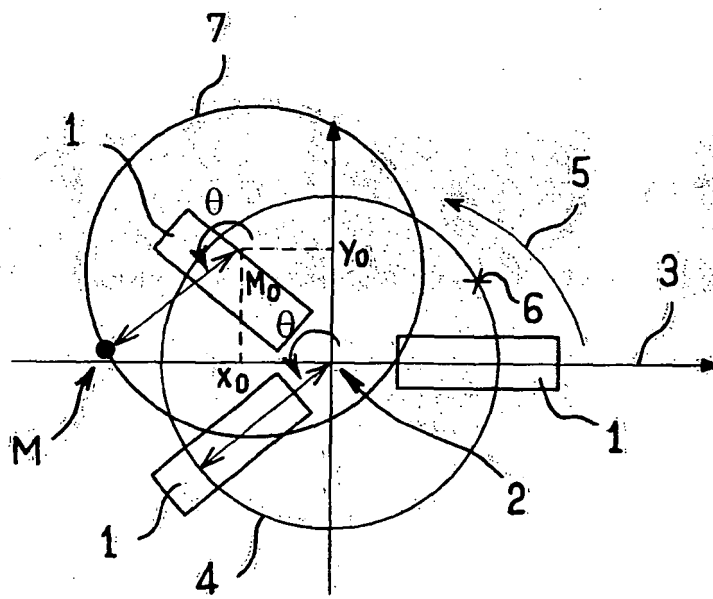


FIG.2

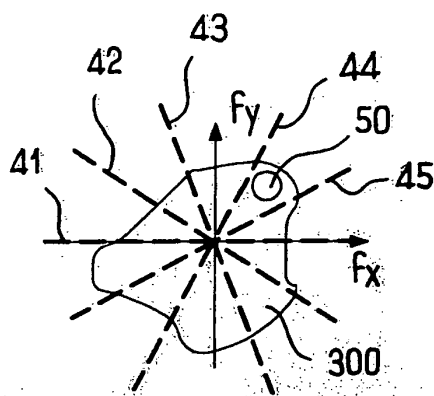
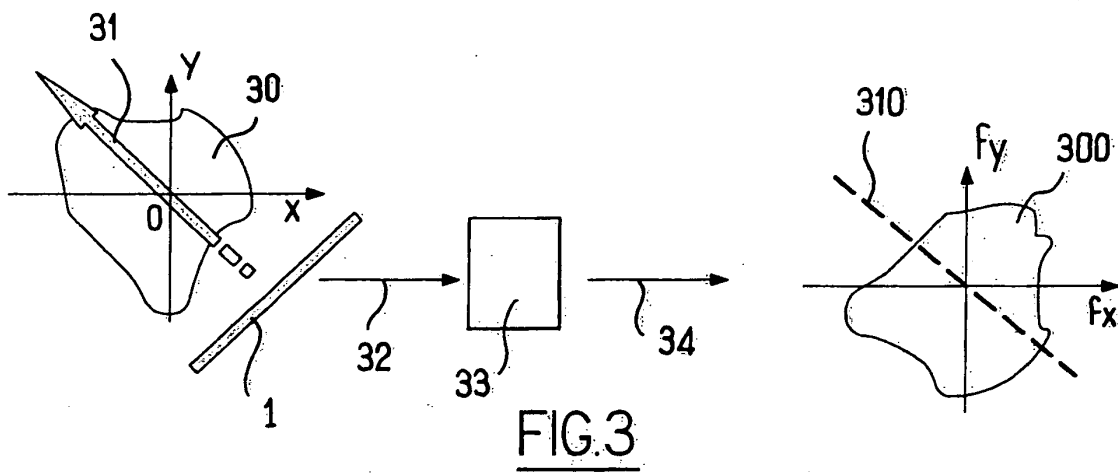
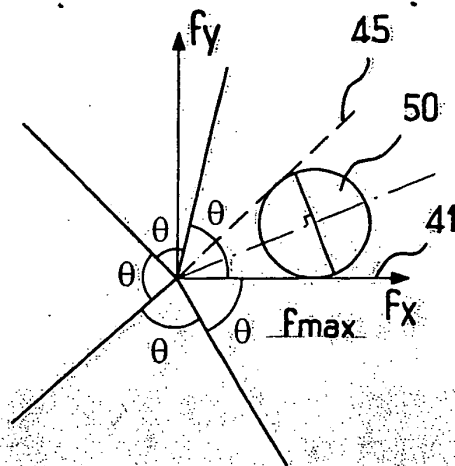
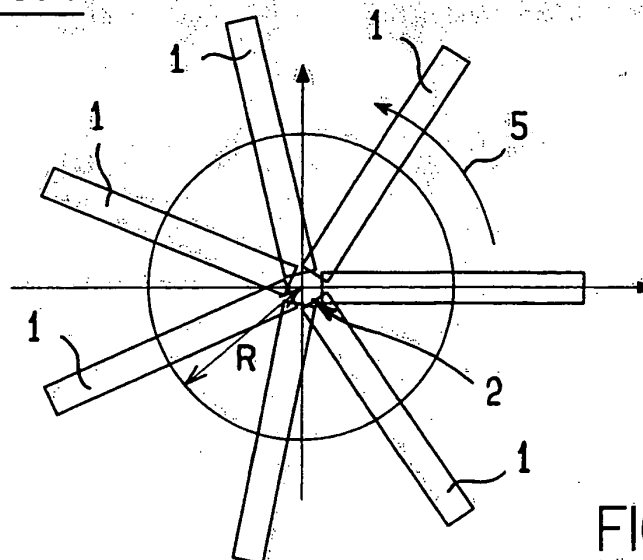


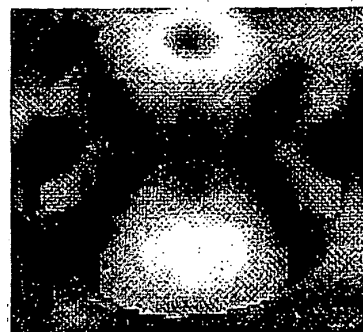
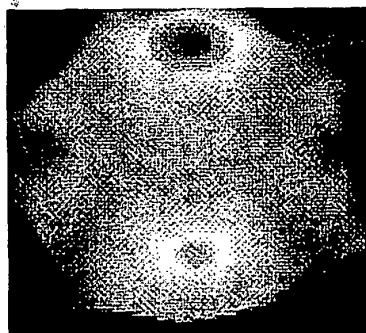
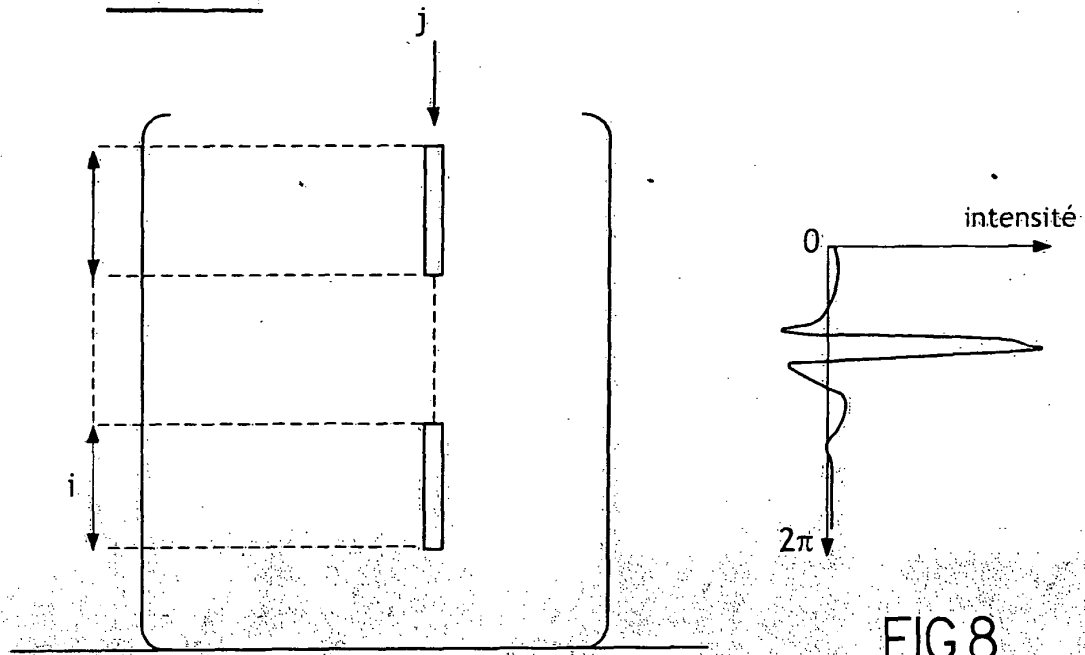
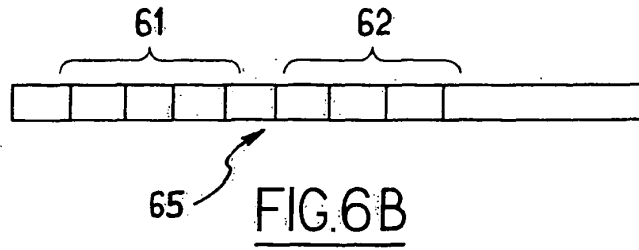
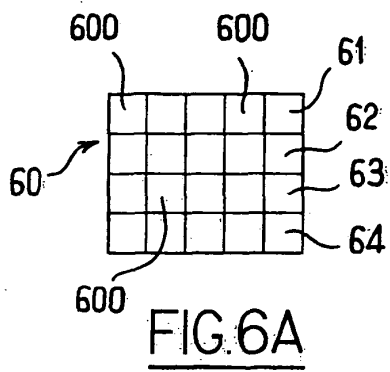
FIG.4



**FIG.5A**



**FIG.5B**



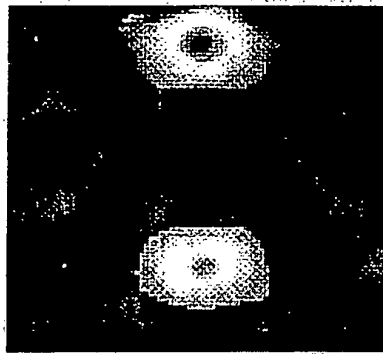


FIG. 9C

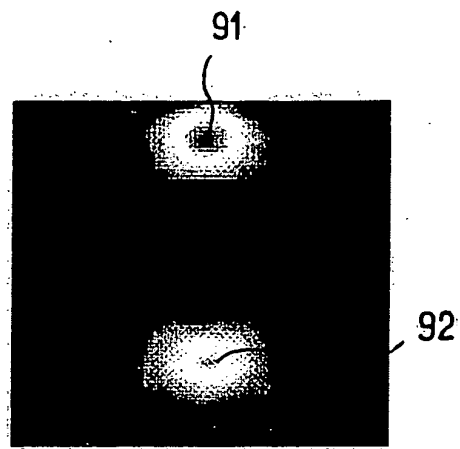


FIG. 9D

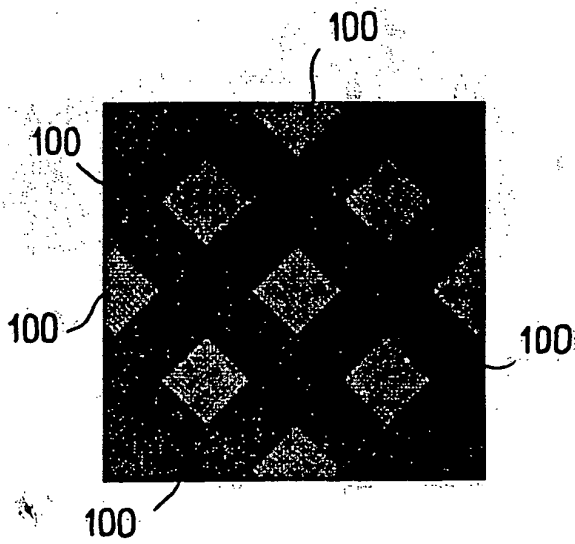


FIG. 10

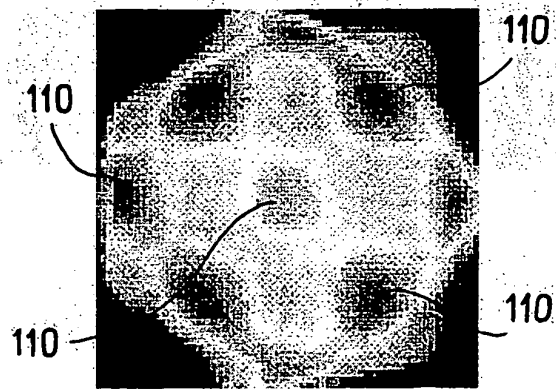


FIG. 11

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- EP 0561163 A [0007]
- EP 19930102363 A [0007]
- DE 19924208516 [0007]