

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
5 juin 2003 (05.06.2003)

PCT

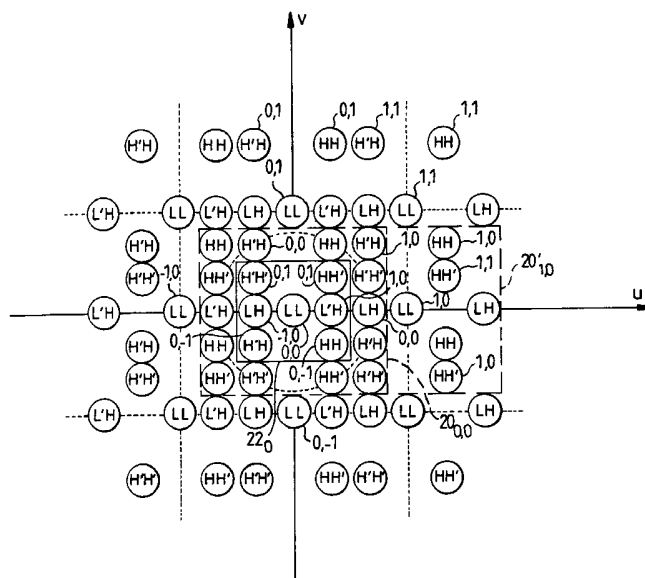
(10) Numéro de publication internationale
WO 03/046642 A1

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : **G02B 27/58, G01S 13/90**
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR02/03989
- (22) Date de dépôt international : 21 novembre 2002 (21.11.2002)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 01/15303 27 novembre 2001 (27.11.2001) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **ALCA-TEL** [FR/FR]; 54, rue la Boétie, F-75008 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **THOMAS, Eric** [FR/FR]; Les Divades, Villa no.11L, 293, avenue du Général Garbay, F-06210 Mandelieu (FR). **BLANC, Philippe** [FR/FR]; 265, boulevard Jeanne d'Arc, Résidence les Collines du Capitou, Bâtiment I/B, F-06210 Mandelieu (FR).
- (74) Mandataires : **SMITH, Bradford, Lee** etc.; Compagnie Financière Alcatel, Département Propriété Industrielle, 30 avenue Kléber, F-75116 Paris (FR).
- (81) États désignés (national) : IL, US.
- (84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: IMAGING ASSEMBLY WITH SYNTHETIC APERTURE OPTICAL INSTRUMENT

(54) Titre : ENSEMBLE IMAGEUR A INSTRUMENT OPTIQUE A SYNTHÈSE D'OUVERTURES



(57) Abstract: The invention concerns an imaging assembly comprising a synthetic aperture instrument including a plurality of pupils separated by sampling detection means. The sampling frequency values in column (u) and in line (v) are less than the values corresponding to the Shannon criterion, and are such that zones of response modulation transfer function resulting from sampling are inserted in zones of null modulation transfer function of the central section of the modulation transfer function, so that said zones do not form an intersection and, in a central section of smaller dimension (22_0) than the central section ($20_{0,0}$) of the modulation transfer function, the set of zones representing the central section of the modulation transfer function is present. The acquired image spectrum is reconfigured so as to reconstruct said image.

[Suite sur la page suivante]



WO 03/046642 A1

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

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

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(57) Abrégé : L'invention concerne un ensemble imageur comprenant un instrument à synthèse d'ouvertures comportant une pluralité de pupilles séparées avec des moyens de détection par échantillonnage. Les valeurs des fréquences d'échantillonnage en colonne (u) et en ligne (v) sont inférieures aux valeurs correspondant au critère de Shannon, et sont telles que des zones de fonction de transfert de modulation de répliques résultant de l'échantillonnage s'insèrent dans des zones à fonction de transfert de modulation nulle de la section centrale de la fonction de transfert de modulation, de façon telle que ces zones ne forment pas d'intersection et que, dans une section centrale de dimension plus réduite (22_0) que la section centrale ($20_{0,0}$) de la fonction de transfert de modulation, soit présent l'ensemble des zones représentant la section centrale de la fonction de transfert de modulation. Le spectre de l'image acquise est reconfiguré afin de reconstruire cette image.

**ENSEMBLE IMAGEUR A INSTRUMENT OPTIQUE A SYNTHESE
D'OUVERTURES**

La présente invention est relative à un ensemble imageur à instrument optique à synthèse d'ouvertures.

Il est envisagé, notamment dans l'industrie spatiale, d'utiliser des systèmes optiques imageurs à synthèse
5 d'ouvertures. Ces systèmes consistent en une combinaison de sous-systèmes ayant chacun une taille réduite de façon à obtenir pratiquement le même résultat qu'un système optique de grandes dimensions. Un système composé de sous-systèmes de petites dimensions est plus aisé à réaliser qu'un
10 système optique de grande dimension et pose moins de problèmes de lancement à l'aide d'un satellite. A titre d'exemple, un système imageur de ce type a une fonction de télescope.

La combinaison des signaux obtenus par chacun des
15 instruments s'effectue en général par interférométrie de Fizeau ou de Michelson.

La figure 1 représente, à titre d'illustration, une configuration de pupilles d'un interféromètre à trois télescopes.

20 La caractéristique optique principale d'un appareil optique à synthèse d'ouvertures est déterminée par le diamètre des pupilles 10, 12, 14 et leurs positions respectives. Dans cet exemple, les pupilles ont toutes le même diamètre D' et leurs centres sont disposés selon un
25 triangle équilatéral de base B' .

On sait que de tels appareils à synthèse d'ouvertures peuvent présenter une fonction de transfert de modulation (FTM) dont le support est de type discontinu lorsque la distance séparant les pupilles est suffisamment grande par
30 rapport à leur diamètre, c'est-à-dire que cette fonction présente des plages d'annulation. La figure 2 représente la

2

fonction de transfert de modulation de l'instrument représenté sur la figure 1.

La fonction de transfert de modulation d'un appareil optique est la réponse de cet instrument pour les diverses fréquences spatiales d'entrée. Dans le diagramme de la figure 2, les fréquences spatiales en colonne sont représentées sur l'axe u des abscisses et les fréquences en ligne sont représentées sur l'axe v des ordonnées. Le support de la fonction de transfert de modulation de l'instrument représenté sur la figure 1 présente ainsi sept zones circulaires, chacune ayant un diamètre $2D$ (avec $D = \frac{D'}{\lambda}$, λ étant la longueur d'onde) : une zone LL "centrale" pour les basses fréquences (L) en colonne et en ligne, et six zones circulaires périphériques : LH, HH, H'H, L'H, H'H' et HH'. La désignation LH signifie que la zone concerne des basses fréquences (L) en ligne et des hautes fréquences (H) en colonne. De même, les désignations HH, H'H', H'H, HH' signifient des hautes fréquences tant en ligne qu'en colonne.

Les centres des zones circulaires périphériques se trouvent sur un cercle de diamètre $2B$ ($B = \frac{B'}{\lambda}$) centré à l'origine.

La ligne joignant les centres des cercles HH et H'H' forme un angle de 60° avec l'axe des abscisses et, de même, la ligne joignant les centres des cercles H'H et HH' forme un angle de 120° avec cet axe des abscisses.

En pratique, les images sont échantillonnées avec une fréquence d'échantillonnage spatial qui peut être différente en ligne et en colonne. Pour éviter le repliement du spectre, c'est-à-dire une perte d'information, il faut respecter le théorème de Shannon, c'est-à-dire que la fréquence d'échantillonnage en colonne

3
doit être supérieure ou égale à 2 fois la fréquence
maximale du spectre à restituer soit 2 fois la distance l
(figure 2) telle que $l = B + D$ et, en ligne, la fréquence
d'échantillonnage doit être égale à deux fois la distance μ
5 (figure 2) qui vaut : $\mu = \sqrt{3}B/2 + D$.

Ainsi, quand la fréquence d'échantillonnage en colonne
est $2B + 2D$ et la fréquence d'échantillonnage en ligne est
 $\sqrt{3}B/2 + D$, on obtient une image dont le support du spectre
est du type de celui représenté sur la figure 3 avec une
10 section centrale de spectre comprenant les sept zones
circulaires LL, L'H, LH, HH, H'H', H'H et HH' et délimitée
sur la figure 3, par un rectangle $20_{0,0}$. Le spectre comporte
aussi un ensemble de répliques identiques à la section
centrale qui sont décalées sur l'axe des abscisses d'un
15 nombre entier de fréquences d'échantillonnage en colonne,
et sur l'axe des ordonnées, d'un nombre entier de
fréquences d'échantillonnage en ligne.

Ainsi, comme on le voit sur la figure 3, le rectangle
 $20_{0,0}$ central de la partie utile du spectre est répliqué
20 pour former un pavage avec des pavés identiques au pavé
central $20_{0,0}$ constituant des répliques $20_{1,0}$, $20_{0,1}$, $20_{1,1}$,
 $20_{0,-1}$, $20_{-1,1}$, etc.

Jusqu'à présent, on a considéré que la fréquence
d'échantillonnage ne pouvait pas descendre au-dessous des
25 valeurs correspondant à celles de la figure 3 car, pour des
fréquences d'échantillonnage inférieures, les zones de FTM
des répliques chevauchent les zones FTM de la section
centrale $20_{0,0}$, ce qui aboutirait à un repliement du
spectre, c'est-à-dire à une détérioration de l'information.

30 Le nombre de pixels (éléments d'image) nécessaire à
l'échantillonnage de l'image est, bien entendu, une
fonction directe de la fréquence d'échantillonnage. Il en

4

résulte que plus la fréquence d'échantillonnage est élevée et plus le nombre de pixels nécessaires est élevé.

L'invention permet une fréquence d'échantillonnage sensiblement plus faible, sans repliement de spectre. Autrement dit, l'invention permet, à champ constant, de diminuer le nombre de pixels nécessaires pour restituer des images et d'augmenter la qualité de l'image (rapport signal à bruit).

L'invention tire parti du fait que la zone centrale $20_{0,0}$ présente des parties importantes dans lesquelles la fonction de transfert de modulation est nulle.

Le procédé conforme à l'invention consiste :

- à conférer aux fréquences d'échantillonnage en colonne et en ligne des valeurs inférieures aux fréquences d'échantillonnage qui sont déterminées par le critère de Shannon, ces fréquences d'échantillonnage de valeurs inférieures fournissant des répliques occupant des parties à fonction de transfert nulle de la section centrale du spectre, sans former d'intersection avec les zones à fonction de transfert non nulle de cette section centrale, l'ensemble des zones utiles différentes les plus rapprochées de l'origine formant alors une nouvelle section centrale de dimension plus faible que la section centrale d'origine, et

- pour reconstruire l'image, à reconfigurer selon la section centrale d'origine la section centrale de faible dimension.

Ainsi, on choisit des fréquences d'échantillonnage en ligne et en colonne dont les valeurs sont telles que des répliques chevauchent cette section centrale, mais évitent des intersections entre les zones (circulaires) à fonction de transfert de modulation non nulle (c'est-à-dire que les zones à FTM non nulle des répliques remplissent des zones

de valeur nulle de la section centrale de la FTM), et on sélectionne dans la section centrale ainsi remplie celles des zones qui sont les plus rapprochées de l'origine des fréquences et qui permettent de reconstruire la fréquence de transfert de modulation, et on reconfigure cette nouvelle section centrale, de dimension plus faible que la section centrale d'origine, de façon qu'elle corresponde, pour la reconstruction d'image, à la section centrale d'origine.

10 Dans le cas d'un instrument embarqué, la reconstruction de l'image s'effectue de préférence au sol.

On montre que dans le cas du système interférométrique à trois pupilles représenté sur la figure 1, le pas d'échantillonnage en ligne peut être augmenté d'un facteur d'environ 1,62 et le pas d'échantillonnage en colonne peut être augmenté d'un facteur d'environ 1,67. Ainsi, le nombre total de pixels nécessaires à l'échantillonnage de l'image est, à champ constant, diminué d'un facteur 2,7.

20 Ainsi, l'invention concerne de façon générale un ensemble imageur comprenant un instrument à synthèse d'ouvertures comportant une pluralité de pupilles séparées avec des moyens de détection par échantillonnage qui est caractérisé :

- en ce que les valeurs des fréquences d'échantillonnage en colonne et en ligne sont inférieures aux valeurs correspondant au critère de Shannon, et sont telles que des zones de fonction de transfert de modulation de répliques résultant de l'échantillonnage s'insèrent dans des zones à fonction de transfert de modulation nulle de la section centrale de la fonction de transfert de modulation, de façon telle que ces zones ne forment pas d'intersection et que, dans une section centrale de dimension plus réduite que la section centrale de la fonction de transfert de

6

modulation, soit présent l'ensemble des zones représentant la section centrale de la fonction de transfert de modulation, et

- en ce qu'il comprend des moyens pour reconfigurer le spectre de l'image acquise afin de la reconstruire, ces moyens permettant de positionner les zones de la section centrale de dimension réduite de façon qu'elles correspondent aux positions des zones de la section centrale d'origine.

10 Dans une réalisation, les valeurs des fréquences d'échantillonnage sont telles qu'au moins selon une direction, en ligne ou en colonne, les zones de la section centrale réduite de la fonction de transfert de modulation sont tangentes.

15 L'instrument peut comprendre trois pupilles de diamètre D' dont les centres sont disposés selon un triangle équilatéral de côté B' , tels que : $2D' = \sqrt{3}B'/4$, la fréquence d'échantillonnage en colonne étant égale à $3B'/2$ et la fréquence d'échantillonnage en ligne étant égale à $6D'$, avec $B' = \frac{B'}{\lambda}$ et $D' = \frac{D'}{\lambda}$, λ étant une longueur d'onde.

L'instrument comprend, dans une variante, quatre pupilles dont chacune présente un diamètre D' et dont les centres sont disposés selon un carré de diagonale B' tels que : $2D' = B'/2$, les fréquences d'échantillonnage en colonne et en ligne étant de $6D'$, avec $D' = \frac{D'}{\lambda}$, λ étant une longueur d'onde.

L'ensemble est par exemple du type interféromètre, notamment télescope.

L'invention concerne aussi un procédé pour déterminer la fréquence d'échantillonnage optique d'un ensemble imageur comprenant un instrument du type à synthèse d'ouvertures de plusieurs pupilles, tel qu'un télescope

interférométrique, qui est caractérisé en ce qu'on choisit cette fréquence d'échantillonnage à une valeur inférieure à celle imposée par le critère de Shannon et telle que les répliques voisines de la section centrale de la fonction de transfert de modulation chevauchent cette section centrale de façon que les zones à fonction de transfert non nulle de ces répliques s'intercalent dans des zones à fonction de transfert nulle de la section centrale, sans intersection avec une zone à fonction de transfert non nulle, et de façon telle qu'une section réduite à l'intérieur de la section centrale contienne l'ensemble des zones utiles pour reconstruire la fonction de transfert de modulation.

Dans une réalisation, on choisit la fréquence d'échantillonnage en ligne et en colonne de façon telle qu'au moins selon une direction, en ligne ou en colonne, les zones de la section réduite qui sont voisines sont tangentes.

L'invention concerne également un procédé de reconstruction d'images dans un ensemble imageur pour lequel la fréquence d'échantillonnage correspond au procédé défini ci-dessus dans lequel on rétablit la fonction de transfert de modulation à partir des zones se trouvant dans la section réduite.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisation, celle-ci étant effectuée en se référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

la figure 1, déjà décrite, représente un interféromètre à trois pupilles,
la figure 2, déjà décrite, représente le support de la fonction de transfert de modulation avant échantillonnage de l'interféromètre représenté sur la figure 1,

8

la figure 3, également déjà décrite, représente, pour l'interféromètre représenté sur la figure 1, le support du spectre après échantillonnage correspondant au critère de Shannon,

5 la figure 4 représente, pour l'interféromètre représenté sur la figure 1, le support du spectre résultant d'une fréquence d'échantillonnage déterminée avec le procédé conforme à l'invention,

10 les figures 5a, 5b et 5c sont des schémas illustrant un traitement pour retrouver le spectre d'origine en vue de la reconstruction de l'image après utilisation du procédé représenté sur la figure 4, et

15 les figures 6, 7, 8, 9, 10a, 10b et 10c sont des figures analogues aux figures, respectivement 1, 2, 3, 4, 5a, 5b et 5c, pour un interféromètre à quatre pupilles représenté sur la figure 6.

On se réfère tout d'abord à la figure 4.

20 Dans cet exemple correspondant à l'interféromètre à trois pupilles représenté sur la figure 1, on choisit une fréquence d'échantillonnage en colonne ayant pour valeur $3B/2$ et une fréquence d'échantillonnage en ligne de valeur $6D$.

25 Dans ce cas, comme on peut le voir sur la figure 4, la section (réplique) $20'_{1,0}$, pour laquelle le centre de la zone centrale LL a 1 pour abscisse et 0 pour ordonnée, chevauche la section centrale $20_{0,0}$. Ainsi, les zones H'H', L'H et H'H de cette réplique $20'_{1,0}$ se trouvent à l'intérieur de la section centrale $20_{0,0}$. En particulier, on observe que la zone $L'H_{1,0}$ se trouve entre les zones $LL_{0,0}$ et
30 $LH_{0,0}$. Les indices pour les zones correspondent aux coordonnées du centre de la zone centrale LL de la réplique correspondante.

De même, la zone $LH_{-1,0}$ se trouve entre les zones $L'H_{0,0}$ et $LL_{0,0}$. On voit aussi que la zone $H'H'_{0,1}$ se trouve entre les zones $LH_{-1,0}$ et $H'H_{0,0}$ et est tangente à ces deux zones. De même, la zone $HH'_{0,1}$ se trouve entre les zones $HH_{0,0}$ et $L'H_{1,0}$ et est tangente à ces deux zones. De façon symétrique, la zone $H'H_{0,-1}$ se trouve entre les zones $LH_{-1,0}$ et $H'H'_{0,0}$ et est tangente à ces deux zones ; enfin, la zone $HH_{0,1}$ se trouve entre les zones $L'H_{1,0}$ et $HH'_{0,0}$ et est tangente à ces deux zones.

On voit ainsi que dans une section centrale 22_0 de dimension plus réduite que la section centrale $20_{0,0}$ on retrouve les sept zones de fonction de transfert de modulation : LL , $L'H$, LH , HH' , $H'H$, HH et $H'H'$, la zone LL provenant de la section centrale $0,0$ alors que les zones $H'H'$ et HH' proviennent de la réplique $0,1$, les zones $H'H$ et HH proviennent de la réplique $0,-1$, la zone $L'H$ provient de la réplique $1,0$ et la zone LH provient de la réplique $-1,0$.

Ainsi, bien qu'on ait choisi des fréquences d'échantillonnage en ligne et en colonne inférieures à celles correspondant au critère de Shannon, il ne se produit pas de repliement de spectre car on obtient dans une section centrale l'ensemble des sept zones de la fonction de transfert de modulation et ces zones ne se chevauchent pas.

Ensuite, pour reconstruire l'image, on procède comme représenté sur les figures 5a, 5b et 5c, c'est-à-dire qu'après avoir obtenu la section centrale réduite 22_0 (figures 4 et 5a), on procède à un réarrangement des zones LL , LH , $L'H$, HH , $H'H$, HH' et $H'H'$ de façon que ces zones soient disposées comme représenté dans la section 20_0 de la figure 3, c'est-à-dire comme sur la figure 5c. A cet effet, on permute HH et HH' , on permute $H'H'$ et $H'H$, et on permute

LH et L'H'. On obtient ainsi la position présentée sur la figure 5b. Ensuite, il suffit d'éloigner de la zone centrale LL les six zones périphériques H'H, HH, L'H, LH, HH' et H'H' pour obtenir la configuration représentée sur la figure 5c, c'est-à-dire la configuration de départ de la section centrale du spectre.

On a observé qu'avec ce procédé, bien que les parties à fonction de transfert nulle contiennent de l'énergie provenant du bruit présent à toutes les fréquences lors de l'échantillonnage, le signal obtenu est de même qualité, c'est-à-dire sans perte d'information, et sensiblement de même amplitude que dans le cas où l'on effectue l'échantillonnage correspondant au critère de Shannon.

Lorsque $2D'=\sqrt{3}B'/4$, le rapport entre la fréquence d'échantillonnage en colonne quand on respecte le critère de Shannon (figure 3) et la fréquence d'échantillonnage déterminée avec le procédé de l'invention (figure 4) a pour valeur $(8+\sqrt{3})/6\approx 1,62$. Ainsi, on peut augmenter le pas entre les pixels dans ce rapport.

La relation indiquée ci-dessus entre D' et B' constitue la valeur maximale de D' qui permet d'utiliser le procédé conforme à l'invention. En effet, pour des valeurs de D' plus importantes, il n'est alors plus possible d'intercaler des répliques dans la zone centrale.

Ce même rapport est, en ligne, de 5/3 (toujours, dans l'hypothèse où : $2D'=\sqrt{3}B'/4$,). Ainsi le pas entre les pixels en ligne peut être augmenté d'un facteur d'environ 1,67.

Le nombre total de pixels peut donc être réduit d'un facteur $1,62 \times 1,67 = 2,7$ pour un champ constant.

Étant donné qu'avec cet échantillonnage, pour un champ donné, on diminue le nombre de pixels, on peut donc augmenter la taille des pixels. Dans le cas d'un système

d'observation de type "push-broom", pour lequel on utilise une seule ligne de détecteurs, le temps d'intégration peut être augmenté. Dans ces conditions dans le cas d'un système de type push-broom, le flux collecté par pixel est multiplié par : $1,62 \times 1,67^2$ ($1,67^2$ provient du fait que l'intégration est effectuée le long des colonnes). Ainsi, le flux collecté par pixel est multiplié par un facteur d'environ 4,52 par rapport à un échantillonnage respectant le critère de Shannon. Dans le cas le plus favorable (qui intervient quand les bruits sont indépendants de la surface du détecteur), le gain sur le rapport signal à bruit est de 4,52, et dans le cas défavorable (qui intervient quand le bruit dépend de la surface du détecteur), le gain sur le rapport signal à bruit est de $\sqrt{4,52}$ soit 2,13.

On va maintenant décrire en relation avec les figures 6, 7, 8, 9 et 10a, 10b, 10c un exemple d'application de l'invention dans le cas où l'interféromètre comporte quatre pupilles.

Un tel interféromètre est représenté sur la figure 6. Il comprend quatre pupilles 30, 32, 34 et 36 circulaires de diamètre D' dont les centres sont disposés selon un carré de diagonale B' . Dans cet exemple, $B'=4D'$, qui est la valeur minimale de D' permettant de faire appel au procédé conforme à l'invention.

Le support de la fonction de transfert de modulation d'un tel interféromètre est représentée sur la figure 7. Cette fonction de transfert de modulation comporte neuf zones circulaires ayant toute un diamètre $2D$ ($D=\frac{D'}{\lambda}$), soit $B/2$ ($B=\frac{B'}{\lambda}$). En plus de la zone centrale LL, dont le centre est à l'origine des fréquences en colonne et en ligne, cette FTM comporte deux zones dont les centres sont sur

12

l'axe des abscisses, à savoir les zones LH et L'H. Le centre de la zone LH a l'abscisse B et celui de la zone L'H a l'abscisse -B. En outre, deux zones HL et H'L présentent leurs centres sur l'axe des ordonnées. L'ordonnée du centre de la zone HL est +B, tandis que l'ordonnée de la zone H'L est -B.

Les centres des zones HL, LH, H'L et L'H forment ainsi un carré et au centre de chaque côté de ce carré se trouvent les centres des quatre autres zones circulaires, à savoir : HH, HH', H'H' et H'H. Comme dans le diagramme de la figure 2, LH signifie une basse fréquence en ligne et une haute fréquence en colonne, et HL une haute fréquence en ligne et une basse fréquence en colonne.

Lorsque la fréquence d'échantillonnage correspond au critère de Shannon avec une valeur minimale $2B + 2D$ tant en colonne qu'en ligne, on obtient pour la FTM (figure 8) une section centrale carrée $40_{0,0}$ et des répliques de cette section carrée, à savoir $40_{1,0}$, $40_{1,-1}$, $40_{1,1}$, $40_{0,1}$, etc., les indices ayant la même signification que dans le cas du diagramme de la figure 3.

Dans ce cas, quand on applique le procédé conforme à l'invention, on peut choisir la même fréquence d'échantillonnage en colonne et en ligne et on peut choisir cette fréquence d'échantillonnage avec une valeur telle que, dans la section centrale réduite, toutes les zones circulaires sont tangentes.

Dans l'exemple représenté sur la figure 9, cette fréquence d'échantillonnage en colonne et en ligne est de $6D$. Ainsi, on obtient une section centrale réduite $40'_{0,0}$ comportant une zone centrale $LL_{0,0}$ et huit autres zones circulaires périphériques HH, H'H, H'L, LH, L'H, H'H', HL et HH' provenant de la section centrale et de répliques. Comme dans le diagramme de la figure 4, sur le diagramme de

la figure 9, on a affecté à chaque zone circulaire les indices correspondant aux coordonnées du centre de la zone LL de la réplique correspondante.

La section centrale réduite $40'_{0,0}$ comporte, outre la zone $LL_{0,0}$, les zones $H'H_{0,0}$, $HH_{0,0}$, $H'H'_{0,0}$ et $HH'_{0,0}$. En outre, la zone $HL_{0,-1}$ s'intercale entre les zones $H'H'_{0,0}$ et $HH'_{0,0}$ et est tangente à ces zones. Cette zone est également tangente à la zone centrale $LL_{0,0}$. La zone $L'H_{1,0}$ s'intercale entre les zones $HH_{0,0}$ et $HH'_{0,0}$ et leur est tangente ainsi qu'à la zone $LL_{0,0}$. De même, la zone $H'L_{0,1}$ s'intercale entre les zones $H'H_{0,0}$ et $HH_{0,0}$ et leur est tangente ainsi qu'à la zone centrale $LL_{0,0}$. Enfin, la zone $LH_{-1,0}$ est intercalée entre les zones $H'H_{0,0}$ et $H'H'_{0,0}$ et leur est tangente ainsi qu'à la zone centrale $LL_{0,0}$.

Pour la reconstruction de l'image, il est nécessaire de reconfigurer la section centrale réduite $40'_{0,0}$ de façon telle que les neuf zones soient réparties comme les zones de la section centrale $40_{0,0}$ représentée sur la figure 8. A cet effet, partant de la section $40'_{0,0}$, on effectue des permutations pour que la zone HL se trouve du côté des ordonnées positives et la zone H'L du côté des ordonnées négatives, et de même on permute les zones LH et L'H. On obtient ainsi la configuration de la figure 10b. Il suffit ensuite de positionner les zones HL, LH, L'H et H'L pour obtenir la configuration représentée sur la figure 10c correspondant à la section centrale $40_{0,0}$ de la figure 8.

La valeur (6D) de la fréquence d'échantillonnage est égale aux cinq tiers de la valeur de la fréquence d'échantillonnage correspondant au critère de Shannon. Ainsi, le pas entre pixels peut être augmenté d'un facteur d'environ 1,67 et le nombre total de pixels nécessaires à l'échantillonnage peut, à champ constant, être réduit de

14

1,67² = 2,79. Etant donné que la taille des pixels peut être augmentée et que, de même, le temps d'intégration peut aussi être augmenté dans le cas d'un système push-broom, le flux collecté par pixel est multiplié par un facteur :

5 1,67² x 1,67 = 4,66. Le gain sur le rapport signal sur bruit est compris entre 4,66 et 2,16.

L'invention n'est, bien entendu, pas limitée à un nombre de pupilles égal à trois ou quatre. Elle s'applique quel que soit le nombre de pupilles de l'interféromètre ou
10 de façon plus générale, de l'instrument à synthèse d'ouvertures. Cependant, quel que soit le mode de réalisation, le rapport entre le diamètre de chaque pupille et la distance entre ces pupilles doit présenter une valeur maximale qui peut être déterminée aisément afin que les
15 zones à fonction de transfert nulle soient suffisamment étendues pour permettre d'intercaler des supports de fonction de transfert de réplique non nulle dans la section centrale de cette FTM.

20

REVENDEICATIONS

1. Ensemble imageur comprenant un instrument à synthèse d'ouvertures comportant une pluralité de pupilles séparées (10, 12, 14 ; 30, 32, 34, 36) avec des moyens de détection par échantillonnage, caractérisé :

5 - en ce que les valeurs des fréquences d'échantillonnage en colonne et en ligne sont inférieures aux valeurs correspondant au critère de Shannon, et sont telles que des zones de fonction de transfert de modulation de répliques résultant de l'échantillonnage s'insèrent dans
10 des zones à fonction de transfert de modulation nulle de la section centrale de la fonction de transfert de modulation, de façon telle que ces zones ne forment pas d'intersection et que, dans une section centrale de dimension plus réduite que la section centrale de la fonction de transfert de
15 modulation, soit présent l'ensemble des zones représentant la section centrale de la fonction de transfert de modulation, et

- en ce qu'il comprend des moyens pour reconfigurer le spectre de l'image acquise afin de la reconstruire, ces
20 moyens permettant de positionner les zones de la section centrale de dimension réduite ($40'_{0,0}$; 22_0) de façon qu'elles correspondent aux positions des zones de la section centrale d'origine.

2. Ensemble selon la revendication 1 caractérisé
25 en ce que les valeurs des fréquences d'échantillonnage sont telles qu'au moins selon une direction, en ligne ou en colonne, les zones de la section centrale réduite de la fonction de transfert de modulation sont tangentes.

3. Ensemble selon la revendication 1 ou 2
30 comprenant trois pupilles (10, 12, 14) de diamètre D' dont les centres sont disposés selon un triangle équilatéral de côté B' , tels que : $2D' = \sqrt{3}B'/4$, la fréquence

d'échantillonnage en colonne étant égale à $3B/2$ et la fréquence d'échantillonnage en ligne étant égale à $6D$, avec $B = \frac{B'}{\lambda}$ et $D = \frac{D'}{\lambda'}$, λ étant une longueur d'onde.

4. Ensemble selon la revendication 2 comprenant
5 quatre pupilles (30, 32, 34, 36) dont chacune présente un diamètre D' et dont les centres sont disposés selon un carré de diagonale B' tels que : $2D' = B'/2$, les fréquences d'échantillonnage en colonne et en ligne étant de $6D$, avec $D = \frac{D'}{\lambda'}$, λ étant une longueur d'onde

10 5. Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il est du type interféromètre, notamment télescope.

6. Procédé pour déterminer la fréquence
15 d'échantillonnage optique d'un ensemble imageur comprenant un instrument du type à synthèse d'ouvertures de plusieurs pupilles, tel qu'un télescope interférométrique, caractérisé en ce qu'on choisit cette fréquence d'échantillonnage à une valeur inférieure à celle imposée par le critère de Shannon et telle que les répliques
20 voisines de la section centrale de la fonction de transfert de modulation chevauchent cette section centrale de façon que les zones à fonction de transfert non nulle de ces répliques s'intercalent dans des zones à fonction de transfert nulle de la section centrale, sans intersection
25 avec une zone à fonction de transfert non nulle, et de façon telle qu'une section réduite à l'intérieur de la section centrale contienne l'ensemble des zones utiles pour reconstruire la fonction de transfert de modulation.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce
30 qu'on choisit la fréquence d'échantillonnage en ligne et en colonne de façon telle qu'au moins selon une direction, en

ligne ou en colonne, les zones de la section réduite qui sont voisines sont tangentes.

8. Procédé de reconstruction d'images dans un ensemble imageur pour lequel la fréquence d'échantillonnage correspond au procédé selon la revendication 6 ou 7 dans lequel on rétablit la fonction de transfert de modulation à partir des zones se trouvant dans la section réduite.

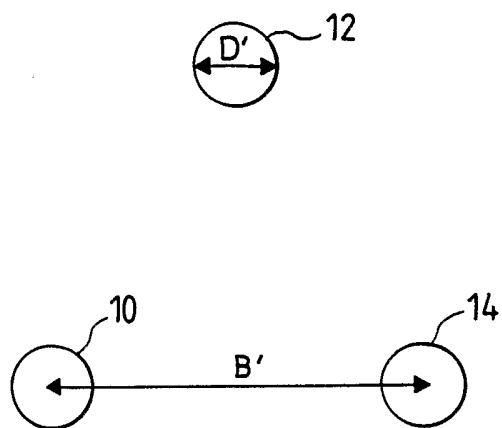


FIG. 1

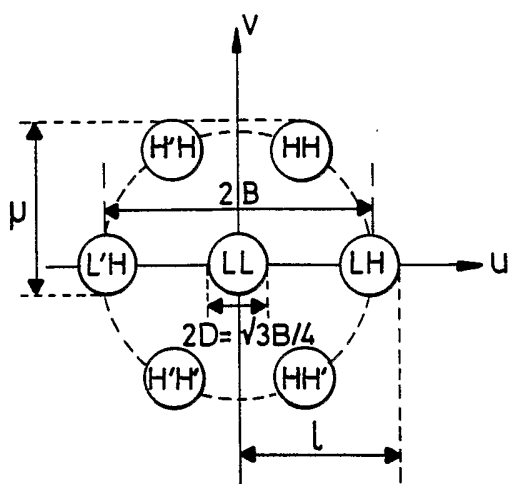


FIG. 2

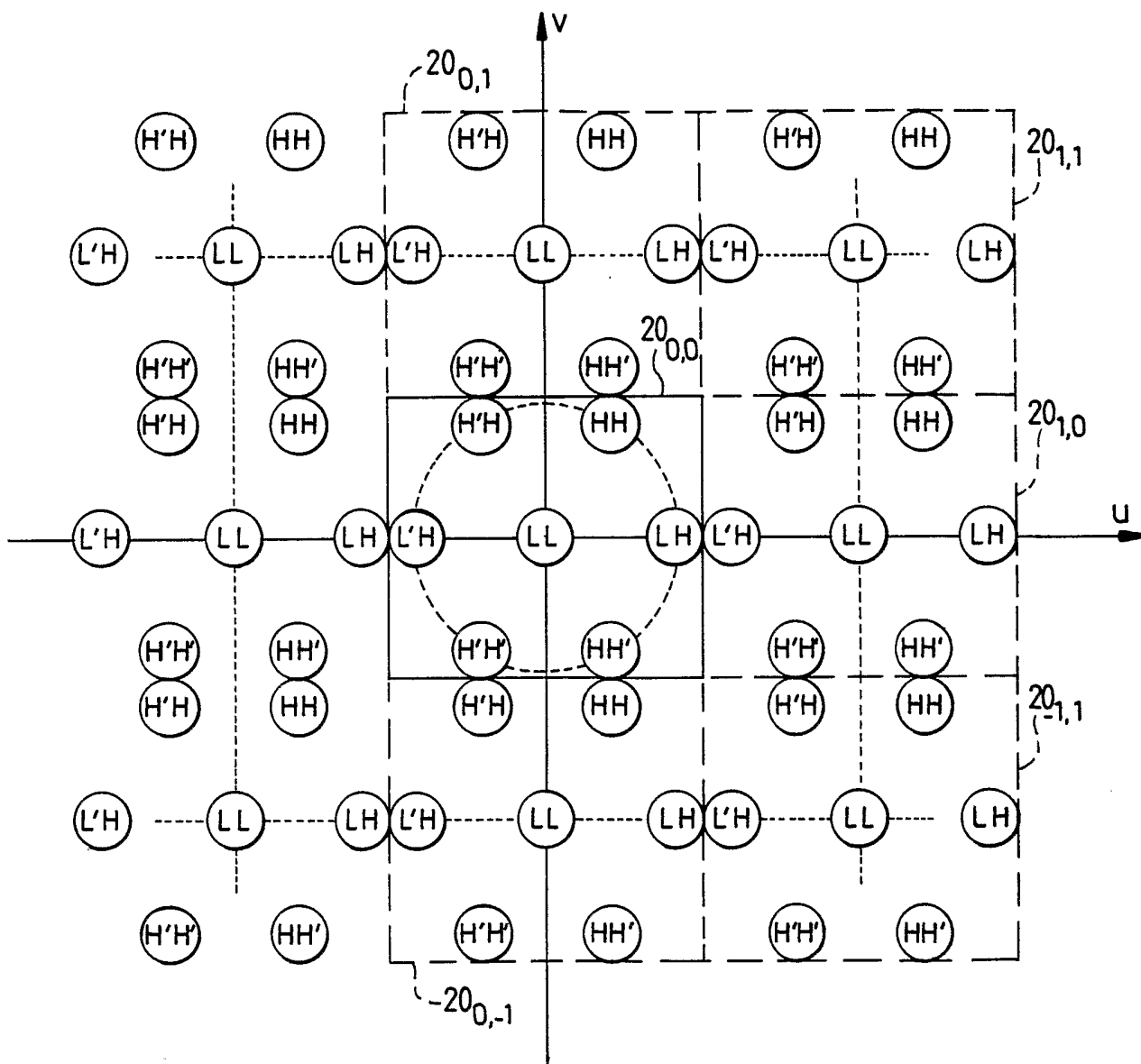


FIG. 3

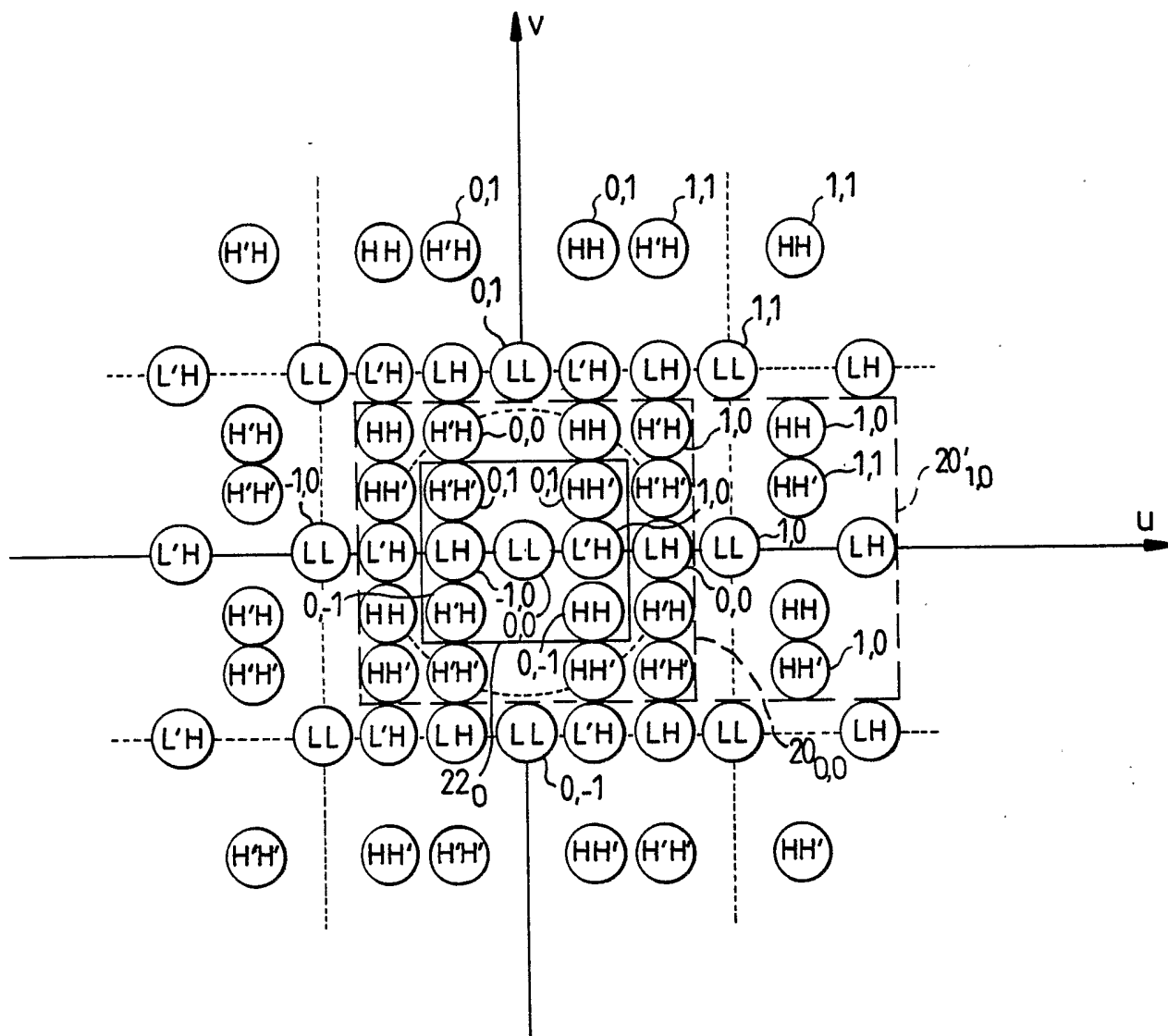


FIG. 4

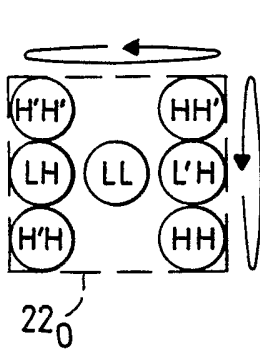


FIG. 5a

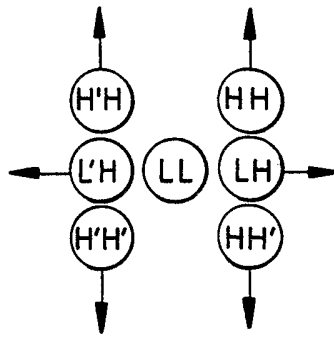


FIG. 5b

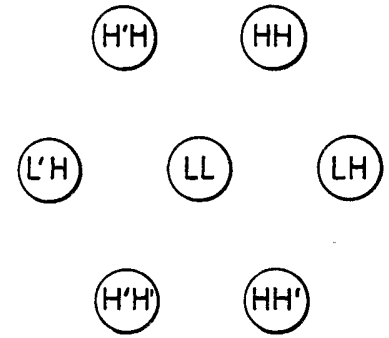


FIG. 5c

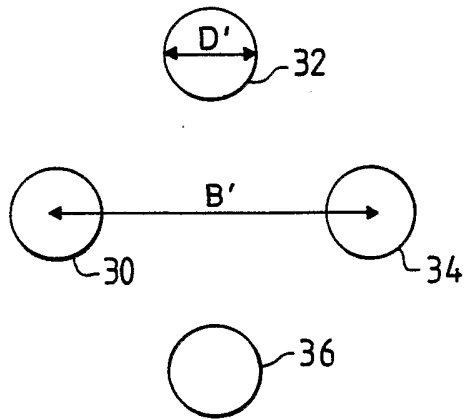


FIG. 6

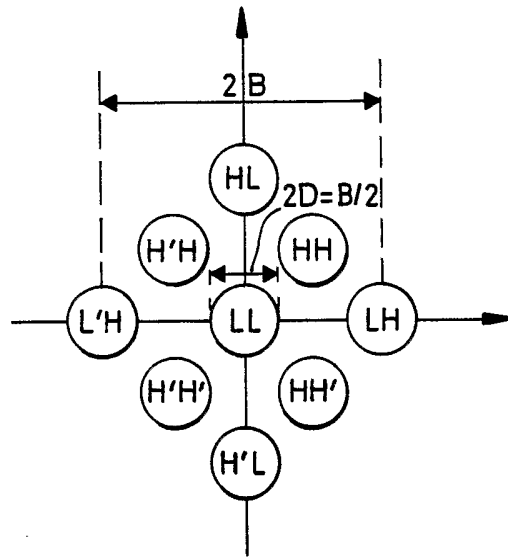


FIG. 7

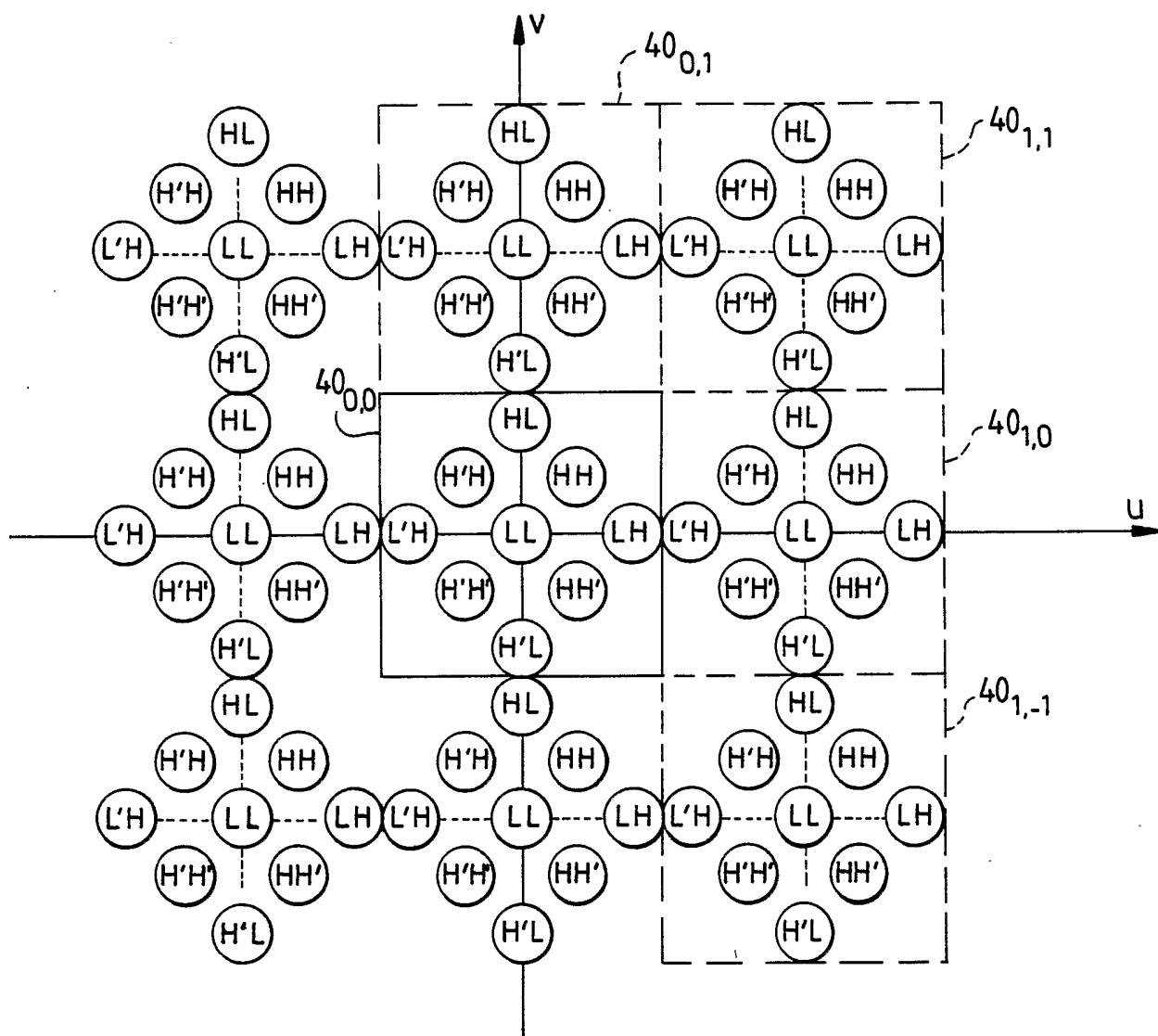


FIG.8

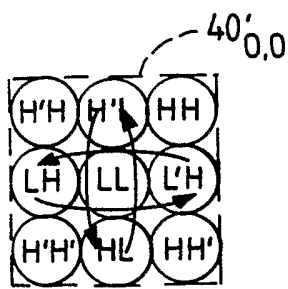
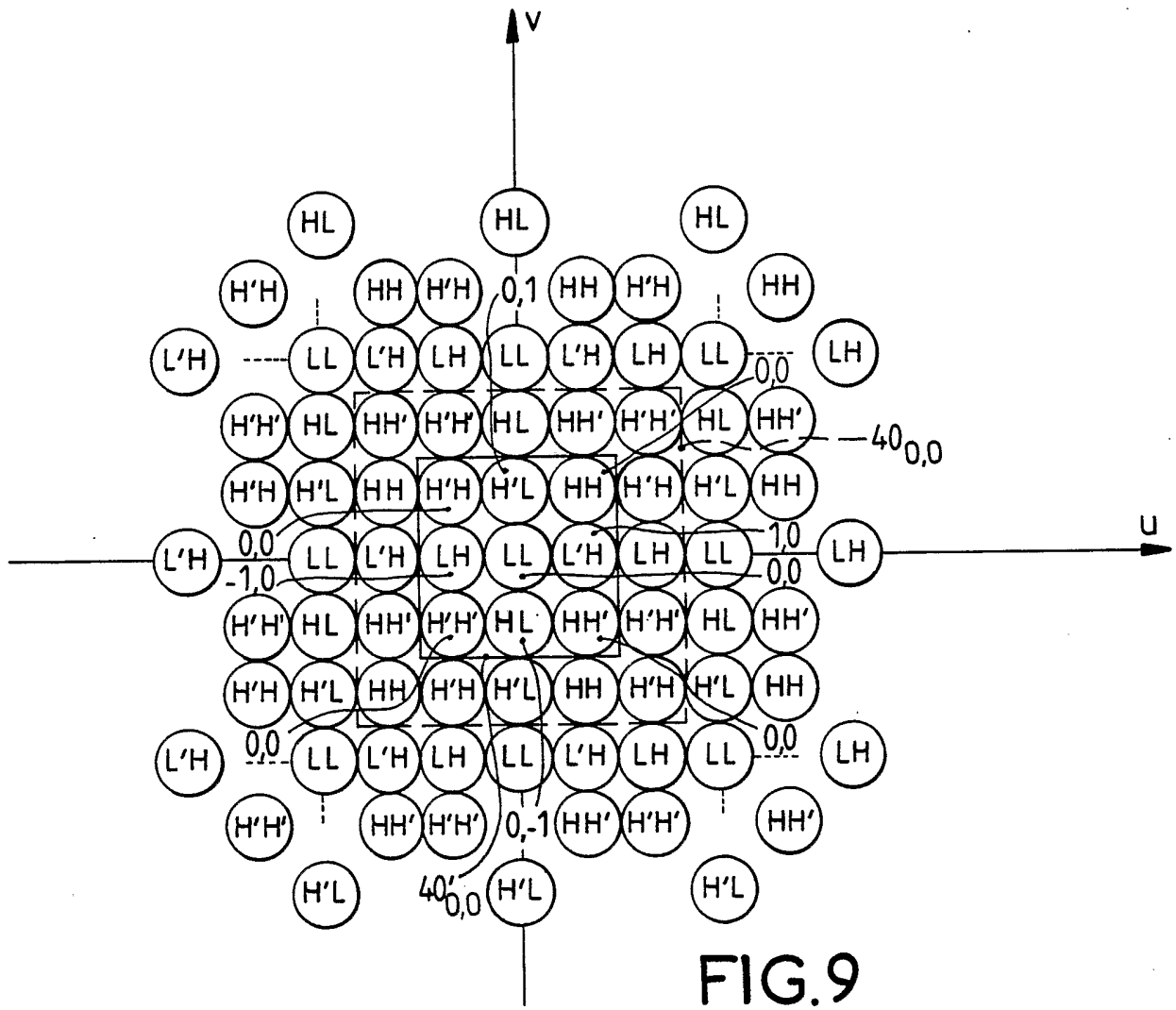


FIG. 10a

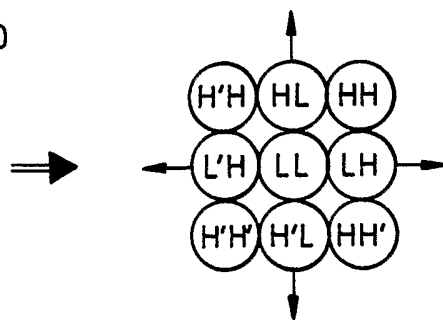


FIG. 10b

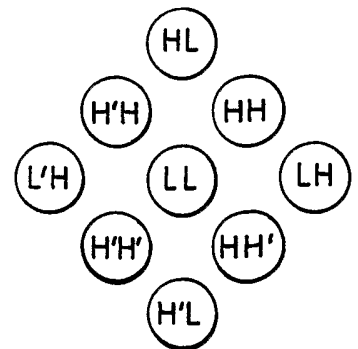


FIG. 10c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 02/03989

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G02B27/58 G01S13/90		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G02B G01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) WPI Data, PAJ, EPO-Internal, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DERENIAK EUSTACE L: "APPLICATION OF A SYNTHETIC APERTURE OPTICAL SYSTEM TO INFRARED IMAGING" APPLIED OPTICS, vol. 12, no. 3, March 1973 (1973-03), pages 487-492, XP002220216 NEW YORK US	1, 2, 5-8
A	the whole document	3, 4
A	US 4 136 954 A (JAMIESON JOHN A) 30 January 1979 (1979-01-30) abstract; figures	1-8
A	US 3 556 630 A (WILCZYNSKI JANUSZ S) 19 January 1971 (1971-01-19) abstract; figures	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
° Special categories of cited documents:		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 28 February 2003		Date of mailing of the international search report 07/03/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Ward, S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No PCT/FR 02/03989
--

Patent document cited in search report	A	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4136954	A	30-01-1979	NONE	
US 3556630	A	19-01-1971	DE 1940657 A1	19-02-1970
			GB 1247446 A	22-09-1971
			JP 52005859 B	17-02-1977

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Code Internationale No
PCT/FR 02/03989

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE CIB 7 G02B27/58 G01S13/90		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 G02B G01S		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) WPI Data, PAJ, EPO-Internal, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DERENIAK EUSTACE L: "APPLICATION OF A SYNTHETIC APERTURE OPTICAL SYSTEM TO INFRARED IMAGING" APPLIED OPTICS, vol. 12, no. 3, mars 1973 (1973-03), pages 487-492, XP002220216 NEW YORK US	1, 2, 5-8
A	le document en entier	3, 4
A	US 4 136 954 A (JAMIESON JOHN A) 30 janvier 1979 (1979-01-30) abrégé; figures	1-8
A	US 3 556 630 A (WILCZYNSKI JANUSZ S) 19 janvier 1971 (1971-01-19) abrégé; figures	1-8
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
° Catégories spéciales de documents cités:		
A document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier *&* document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">28 février 2003</p>	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">07/03/2003</p>	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Ward, S</p>	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

ide Internationale No
PCT/FR 02/03989

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4136954	A	30-01-1979 AUCUN	
US 3556630	A	19-01-1971 DE 1940657 A1 GB 1247446 A JP 52005859 B	19-02-1970 22-09-1971 17-02-1977