

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 568 076

②1 N° d'enregistrement national : **84 11398**

⑤1 Int Cl⁴ : H 04 N 1/04.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 18 juillet 1984.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 4 du 24 janvier 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE
RECHERCHES AEROSPATIALES dit O.N.E.R.A. — FR.

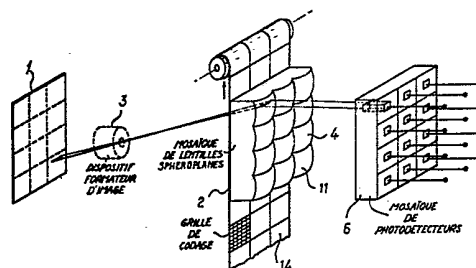
⑦2 Inventeur(s) : André Jean Girard.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Martinet & Lapoux.

⑤4 Dispositif hybride d'analyse multiplex d'image.

⑤7 L'invention concerne des perfectionnements aux appareils permettant de déterminer la répartition des luminances à la surface d'un objet. Le dispositif hybride comprend des moyens 3 de former l'image 2 d'un objet 1 dans un certain plan, des photodétecteurs formant une mosaïque de photodétecteurs 6 et des dispositifs optiques 4 en nombre égal aux photodétecteurs transmettant respectivement la lumière d'un secteur de l'image dans son plan à un photodétecteur. Les faisceaux lumineux reçus dans des aires élémentaires formant un secteur d'image sont modulés par une grille mobile de codage 14 comportant des parties opaques correspondant à un 0 binaire et des parties transparentes correspondant à un 1 binaire. La grille module chaque faisceau en provenance des aires élémentaires par une fonction binaire, périodique, pseudo-aléatoire. Les faisceaux provenant des aires élémentaires sont modulés par des parties identiques de la grille.



DISPOSITIF HYBRIDE D'ANALYSE MULTIPLEX D'IMAGE

La présente invention concerne des perfectionnements aux appareils permettant de déterminer la répartition des luminances à la surface d'un objet et, plus particulièrement, un analyseur d'images par codage optique multiplex dans lequel l'analyse est
5 hybride, c'est-à-dire est effectuée simultanément par multiplex spatial et par multiplex temporel.

L'idée de base commune à tous les systèmes multiplex d'analyse d'image est de coder les N éléments de l'image par un ensemble de N fonctions aussi peu corrélées que possible entre elles,
10 c'est-à-dire par un ensemble de fonctions orthogonales. Dans les systèmes d'analyse classiques, il s'agit de fonctions assimilables à des créneaux étroits décalés les uns par rapport aux autres dans le temps. Ainsi, l'énergie issue de tout élément de l'image ne parvient au détecteur que pendant une faible fraction du temps
15 global d'analyse. En analyse multiplex, l'ensemble des fonctions orthogonales utilisé est tel que l'énergie issue d'un élément de l'image parvient au détecteur pendant la moitié du temps global d'analyse.

On connaît (Cf. Brevet français FR-A-2140914 du 11 juin 1971)
20 des systèmes d'analyse multiplex d'image dans lesquels l'ensemble des fonctions orthogonales est constitué par des fonctions binaires cycliques pseudo-aléatoires du type

$$N = 2^k - 1$$

Le mode de construction des fonctions de ce type consiste à
25 déterminer l'ensemble de toutes les séquences possibles de k bits. On part d'une répartition quelconque de k bits de valeur 1 et 0 (à l'exception de k bits 1). La répartition suivante est obtenue en faisant disparaître le dernier bit et en faisant glisser les autres d'une unité vers la droite. Le premier bit de la nouvelle ligne a
30 pour valeur la valeur du produit des deux derniers bits de la ligne précédente selon la table de vérité de la fonction OU-Exclusif.

L'opération est répétée jusqu'à ce que la séquence de départ soit à nouveau obtenue. Si cette éventualité survient avant que

- 2 -

toutes les possibilités soient épuisées (il en existe (2^k-1)), l'opération peut être reprise en donnant au premier bit de la nouvelle séquence la valeur du produit du dernier et de l'antépénultième bit de la séquence précédente.

- 5 Les mots obtenus par ce processus sont dans le cas de $k = 3$ les suivants :

	0	1	1
	1	0	1
	0	1	0
10	0	0	1
	0	0	0
	1	0	0
	1	1	0
	0	1	1

- 15 On choisit une séquence pseudo-aléatoire dans le tableau qui précède, par exemple celle entourée par un rectangle. D'autres mots sont obtenus par permutation circulaire en plaçant le dernier élément (c'est-à-dire l'élément de rang N) à la première place et en décalant tous les autres éléments d'une unité (le premier devient le second, le second devient le troisième, etc...).
 20 On peut donc par ce mode de construction obtenir N mots différents dont l'ensemble constitue la matrice de codage L .

$$\begin{array}{rcl}
 & & \begin{array}{ccccccc} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \\
 25 \quad L = & &
 \end{array}$$

- 30 La matrice L est symétrique. La propriété fondamentale de la matrice de codage L s'écrit :

$$L \cdot L = L \cdot L^T = \frac{N-1}{2} \times |1| \quad (1)$$

L^T est la matrice transposée de L et $|1|$ est matrice unitaire de rang N.

- 3 -

En désignant par ℓ_j^i le terme général de la matrice $\mathcal{L}$, la relation (1) s'écrit :

$$\sum_{j=1}^{j=N} \ell_j^i \ell_j^{(i+p)} = \begin{cases} \frac{N+1}{4} - 1 & \text{si } p \neq 0 \\ \frac{N-1}{2} & \text{si } p = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Les lignes de la matrice $\mathcal{L}$ ne sont donc pas strictement orthogonales. La condition (1) est appelée condition de transorthogonalité.

L'opération de codage consiste à superposer successivement à la répartition des pixels de l'image les lignes de la matrice de codage. Grâce au caractère cyclique du code, le passage d'une mesure à la suivante s'effectue simplement en décalant d'une unité la fonction de codage parallèlement à la répartition des pixels de l'image. L'image codée est l'ensemble fourni par les mesures du flux émergent de la répartition dans les diverses positions du code. Le nombre de mesures indépendantes est donc égal au nombre d'éléments de la fonction de codage.

La fonction de codage est matérialisée par les zones transparentes et opaques (facteur de transmission 1 ou 0) dont la répartition réalise la matrice $\mathcal{L}$.

Ainsi, dans l'art antérieur, la répartition des luminances est déterminée à partir de l'analyse multiplex d'une image de l'objet, en mettant en oeuvre un détecteur d'image et une grille mobile dont le rôle est de moduler le flux lumineux émis en chaque point de l'image par la valeur des termes d'une fonction périodique binaire pseudoaléatoire. L'image modulée (codée) ainsi obtenue est ensuite démodulée (décodée) en corrélant les signaux délivrés par le récepteur d'image avec une réplique de la fonction de modulation engendrée par la grille. Ce procédé d'analyse d'image réduit l'influence du bruit propre du récepteur d'image sur les mesures de luminance effectuées.

Des progrès techniques ont permis de réduire considérablement le bruit propre des récepteurs d'image et la précision des mesures obtenues par ce procédé d'analyse multiplex temporel se trouve

- 4 -

maintenant limitée par le bruit dû aux fluctuations du flux de photons incidents reçus par la surface sensible du récepteur.

Pour réduire l'influence du bruit de photons, l'invention consiste à diviser l'image en zones pour répartir les flux lumineux
 5 modulés par la grille, non plus sur un détecteur unique, mais sur une mosaïque de détecteurs photoélectriques. A cet effet, l'image codée est échantillonnée au moyen d'éléments optiques transmettant les échantillons respectifs sur les surfaces sensibles des détecteurs, et le décodage est effectué simultanément sur chacun
 10 des échantillons.

La grille de codage est une bande comprenant autant de zones de codage que de détecteurs photoélectriques, qui s'enroule sur un cylindre et l'échantillonnage de l'image codée est réalisé par une mosaïque de lentilles sphéroplanes dont les faces convexes sont
 15 tournées vers les détecteurs.

Une variante de réalisation consiste à échantillonner l'image codée au moyen d'un ensemble de guides de lumières convergents-divergents associé à une mosaïque de détecteurs photoélectriques semblable à celui qui a été décrit dans la demande
 20 de brevet FR-A-2 537 277 du 2 décembre 1982.

La démodulation, ou décodage, des signaux électriques délivrés par chacun des détecteurs s'effectue par des procédés numériques connus (nouvelle Revue d'Optique de juillet-août 1976) ou au moyen d'un dispositif analogique comprenant des sources de lumière et des
 25 éléments optiques transmettant les flux lumineux produits, sur une grille de décodage identique à la grille de codage et défilant à la même vitesse.

L'image à analyser a N pixels, m lignes et n colonnes.
 $N = m \text{ lignes} \times n \text{ colonnes}$. On partage l'image en P secteurs de q
 30 lignes ($\frac{m}{q}$ entier) et r colonnes ($\frac{r}{n}$ entier). Chaque secteur contient donc $s = \frac{N}{P} = qr$ éléments. Ces secteurs sont désignés par 10 sur la Fig. 1.

Les s éléments de chacun des P secteurs sont analysés simultanément au moyen d'un code binaire pseudoaléatoire
 35 ($s = qr = 2^\alpha - 1$, α entier), répété P fois sur le même support de code. Cette analyse est réalisée par une translation du support de

- 5 -

code mono ou bidimensionnelle selon le code utilisé, dont l'amplitude est faible (< 1 mm) et qui peut s'assimiler à un "microbalayage". L'analyse de s éléments spatiaux de chaque secteur nécessite s mesures au cours de la translation.

- 5 Le flux émergent de chaque secteur 10 est concentré par une lentille élémentaire sur un détecteur dont la surface sensible est conjuguée avec la pupille d'entrée du système. Le nombre de détecteurs est égal à P, de même que le nombre de lentilles élémentaires. Ces lentilles sont jointives et collées sur un support plan commun. L'espacement entre les axes des détecteurs est
10 égal à celui qui sépare les centres des éléments de l'"œil de mouche" constitué par les lentilles (Fig. 2).

Exemples numériques

	q = 3	r = 5	s = 15
15	q = 7	r = 9	s = 63

m peut avoir pour valeur n'importe quel multiple de q et n peut avoir pour valeur n'importe quel multiple de r.

L'invention va être maintenant décrite en détail en relation avec les dessins annexés dans lesquels :

- 20 - la Fig. 1 représente les secteurs dans lesquels l'image à analyser est divisée, les points intérieurs aux secteurs étant traités par multiplexage temporel, les points et les secteurs eux-mêmes étant traités par multiplexage spatial ;
- la Fig. 2 est une vue schématique de la mosaïque de
25 lentilles, de la mosaïque de détecteurs, et de la grille de codage ;
- la Fig. 3 est une vue détaillée du dispositif de codage montrant la grille de codage, la mosaïque de lentilles et la mosaïque de détecteurs ;
- 30 - la Fig. 4 représente en plan la mosaïque de lentilles ou œil de mouche ;
- la Fig. 5 représente en coupe l'œil de mouche ;
- la Fig. 6 représente une variante du dispositif d'analyse dans laquelle l'œil de mouche est réalisé sous la forme d'une
35 mosaïque de bicônes ;
- les Figs. 7a et 7b représentent la grille de codage ;

- 6 -

- la Fig. 8 est une vue du dispositif de décodage ; et
- les Figs. 9 et 10 représentent un système de codage et de décodage d'image avec grille tournante.

On va maintenant donner des exemples de réalisation du système
5 d'analyse d'images de l'invention.

En se référant aux Figs. 2 et 3, l'image 2 d'un objet 1 est formée dans le plan focal d'un dispositif optique formateur d'images 3 qui peut être un télescope ou un objectif. Bien que le système formateur d'image représenté sur les Figs. 2 et 3 soit une
10 lentille, on supposera que ce dispositif optique est un télescope de diamètre $D = 0,60$ m et de distance focale $F = 100$ m qui est limité par la diffraction à $\lambda = 10$ μ m. Le pas d'échantillonnage a pour valeur :

$$\frac{F\lambda}{2D} = 0,83 \text{ mm}$$

15 On choisit les paramètres suivants :

$m = 60$ lignes
 $n = 60$ colonnes
 $N = 60 \times 60$ pixels
 $q = 5$ lignes

20 $r = 3$ colonnes
 $m/q = 12$
 $n/r = 20$
 $P = (m/q) \times (n/r) = 240$
 $s = qr = 15$

25 et on choisit l'intervalle entre lignes et l'intervalle entre colonnes égaux à 0,83 mm. Les dimensions d'un secteur sont donc
 $(0,83 \times 5) \times (0,83 \times 3) = 4,15 \times 2,5$ mm
et celles de l'image

$$(0,83 \times 60) \times (0,83 \times 60) \approx 50 \times 50 \text{ mm}$$

30 L'oeil de mouche 4 est composé de petites lentilles sphéroplanes 11 qui ont une distance focale de 10 mm et sont collées jointivement sur une plaque transparente 5. Ces lentilles ont les mêmes dimensions transversales que le secteur d'image et sont en même nombre, soit 240 qui forment un carré de 50 mm de

- 7 -

côté. Le matériau constitutif des lentilles peut être le fluorure de baryum ou le sélénium de zinc.

Les lentilles 11 composant l'oeil de mouche sont représentées dans les Figs. 4 et 5, en plan sur la Fig. 4 et en coupe sur la Fig. 5. Elles ont en plan la même forme et les mêmes dimensions que les secteurs d'image, leurs faces sphériques ont un rayon de $R = 5 \text{ mm}$ et elles ont un indice de réfraction de 1,5. Elles sont collées sur le support plan 5. Elles transmettent aux détecteurs 12 qui leur sont associés le rayonnement modulé par code mobile 14.

10 Dans la Fig. 3, les rayons lumineux ayant traversé les lentilles élémentaires 11 se propagent dans l'air pour atteindre la mosaïque de photodétecteur 6. Dans la Fig. 6, la matrice de lentilles est remplacée par une matrice de bicônes 7. Cette matrice est formée d'une pluralité de bicônes ayant une partie convergente 15 et une partie divergente 16. Les tubes convergents 15 ont une ouverture 17 dans le plan de laquelle se forme l'image 2 et les tubes divergents 16 aboutissent aux détecteurs 12. La matrice est refroidie par un fluide réfrigérant. Une matrice de bicônes est décrite dans la demande de brevet français publiée FR-A-2 537 277.

20 Les faisceaux issus des différents pixels de l'objet sont modulés par une grille mobile 14. Cette grille est constituée comme dans l'art antérieur à partir d'une matrice de codage d'ordre 15. Pour former cette matrice, on opère comme indiqué dans l'entrée en matière. On forme d'abord une séquence pseudo-aléatoire
25 correspondant à $k = 4$:

- 8 -

	0	1	1	0
	0	0	1	1
	1	0	0	1
	0	1	0	0
5	1	0	1	0
	0	1	0	1
	0	0	1	0
	0	0	0	1
	0	0	0	0
10	1	0	0	0
	1	1	0	0
	1	1	1	0
	0	1	1	1
	1	0	1	1
15	1	1	0	1
	0	1	1	0

puis on forme une séquence de 15 bits et l'on permute
circulairement les bits de cette séquence.

	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1
20	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1
	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0
25	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1
	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1
	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0
30	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1

- 9 -

Si le codage était fait unidimensionnellement par lignes de 15 pixels, il faudrait que les flux des 15 pixels alignés soient modulés respectivement par des mots de code de 15 bits de la matrice de codage.

5 Comme le codage est bidimensionnel, les mots de codage à 15 bits sont disposés sur la grille 14 en trois mots de 5 bits, ce qui donne par exemple pour le mot à 15 bits
0 1 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 les trois mots de 5 bits suivants

0 1 1 0 0
10 1 0 1 0 0
0 0 1 1 1

Au lieu de permuter circulairement les mots de codage de 15 bits, on permute les motifs 5 x 3 de la façon suivante :

0 1 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1
15 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0
0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 0

comme le représentent les Figs. 7a et 7b. Les permutations circulaires des mots de 15 bits sont remplacées par une permutation circulaire de mots de 5 bits et par une permutation circulaire de groupes de trois mots. Cela fait bien dans les deux cas quinze états possibles.

Pour chaque secteur, la grille de codage est la même puisque les secteurs sont séparés par multiplexage spatial et non par multiplexage temporel.

25 La Fig. 8 représente le système de décodage et de restitution d'image.

La matrice de détecteurs 6 de la Fig. 3 ou la matrice de détecteurs 7 de la Fig. 6 est reliée à une matrice 20 de diodes électroluminescentes 21 dans laquelle les diodes électroluminescentes 21 ont le même pas que les détecteurs 12. La
30 matrice 20 émet des faisceaux de lumière vers un tube à image 22 à travers la matrice de lentilles 4, et la grille de décodage 14 (identique à la grille de codage). Cette grille est animée du même mouvement (vitesse et amplitude) que dans le cas du codage.

35 Jusqu'à présent, on a supposé que la grille 14 était animée d'un mouvement de translation. Les Figs. 9 et 10 représentent un

- 10 -

dispositif d'analyse d'images à multiplexage hybride dans lequel la grille est constituée par des perforations ou des absences de perforation dans un tambour tournant 26.

Dans la Fig. 9, l'objet 1 est projeté sur une mosaïque de
5 détecteurs 6 à travers un objectif 3, la grille 31, une lentille 27
et un miroir 28. La mosaïque 6 de détecteurs est reliée à un
calculateur numérique 29 qui effectue le décodage. Le décodage
numérique d'une image codée par produit matriciel analogique avec
une fonction binaire pseudo-aléatoire est décrit dans le document
10 "La nouvelle Revue d'Optique", 1976, t. 7 N° 4, pages 221-234,
"Analyse d'Image par Codage Optique Multiplex" par J. APPEL et A.
GIRARD.

La Fig. 10 représente le dispositif de décodage analogique
avec une grille 31 sur un tambour 26. On retrouve sur la Fig. 10
15 l'objet 1, l'objectif 3, la grille rotative 26, et un bloc 32
contenant la mosaïque de lentilles 4 et la mosaïque de détecteurs
6. Ce bloc 32 est reliée à un autre bloc 33 contenant la mosaïque
de diodes électroluminescentes 20 et la mosaïque de lentilles 4.
Les faisceaux sortant du bloc 33 traversent la grille 31 et tombent
20 sur le tube à image 34. On s'aperçoit que la Fig. 10 présente une
grande ressemblance avec la Fig. 8, à cette exception près que la
grille est tournante.

- 11 -

REVENDICATIONS

1 - Dispositif hybride d'analyse multiplex d'image comprenant des moyens (3) de former l'image d'un objet dans un certain plan ;

une pluralité de photodétecteurs formant une mosaïque de
5 photodétecteurs (6, 7) ;

une pluralité de dispositifs optiques (4) transmettant la lumière d'un secteur de l'image dans son plan respectivement à un photodétecteur ; ladite pluralité de dispositifs optiques étant égale en nombre à celle des photodétecteurs ;

10 caractérisé en ce que

les faisceaux lumineux reçus dans des aires élémentaires formant un secteur d'image sont modulés par une grille mobile (14) de codage comportant des parties opaques correspondant à un 0 binaire et des parties transparentes correspondant à un 1 binaire,
15 ladite grille modulant chaque faisceau en provenance desdites aires élémentaires par une fonction binaire, périodique, pseudo-aléatoire et en ce que les faisceaux provenant des aires élémentaires sont modulés par des parties identiques de la grille.

2 - Dispositif conforme à la revendication 1, caractérisé en
20 ce que les dispositifs optiques (4) transmettant la lumière d'un secteur de l'image dans son plan respectivement à un photodétecteur sont des lentilles élémentaires occupant les emplacements des secteurs d'image.

3 - Dispositif conforme à la revendication 1, caractérisé en
25 ce que les dispositifs optiques transmettant la lumière d'un secteur de l'image dans son plan respectivement à un photodétecteur sont des tubes optiques élémentaires dont les orifices optiques occupent les emplacements des secteurs d'image.

4 - Dispositif conforme à la revendication 3, caractérisé en
30 ce que chacun des tubes optiques est composé d'une partie convergente recevant la lumière d'un secteur d'image et d'une partie divergente ayant son orifice en regard d'un photodétecteur.

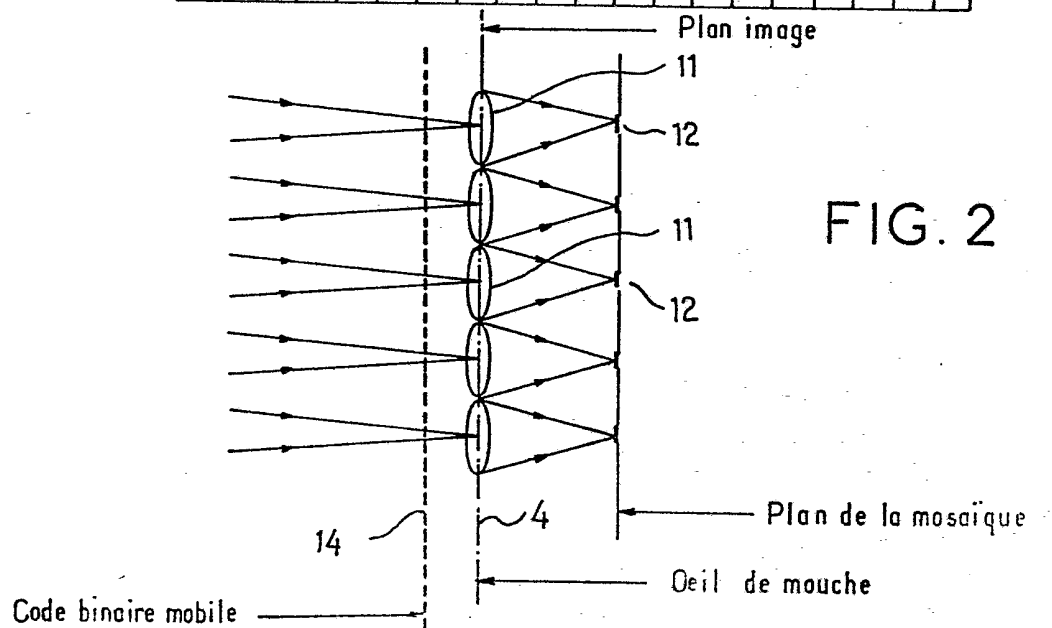
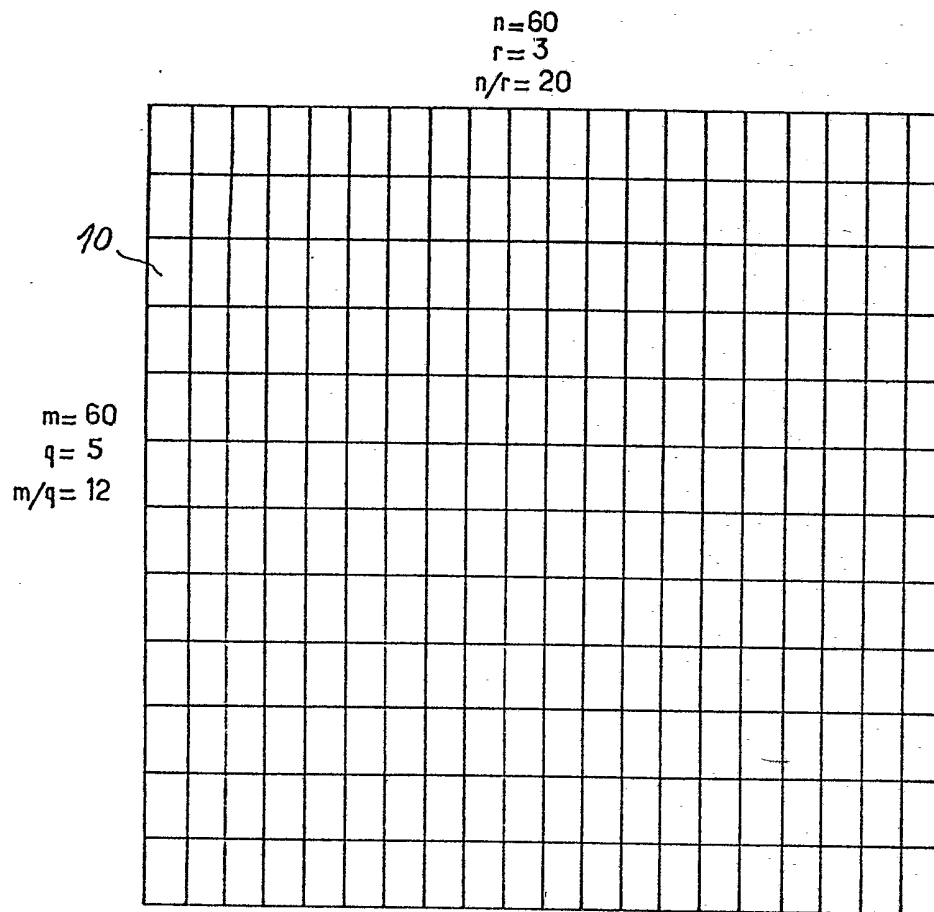
5 - Dispositif conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que la grille de codage mobile est animée d'un mouvement de
35 translation dans le plan de l'image.

- 12 -

6 - Dispositif conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que la grille de codage mobile est animée d'un mouvement de rotation tangent au plan de l'image.

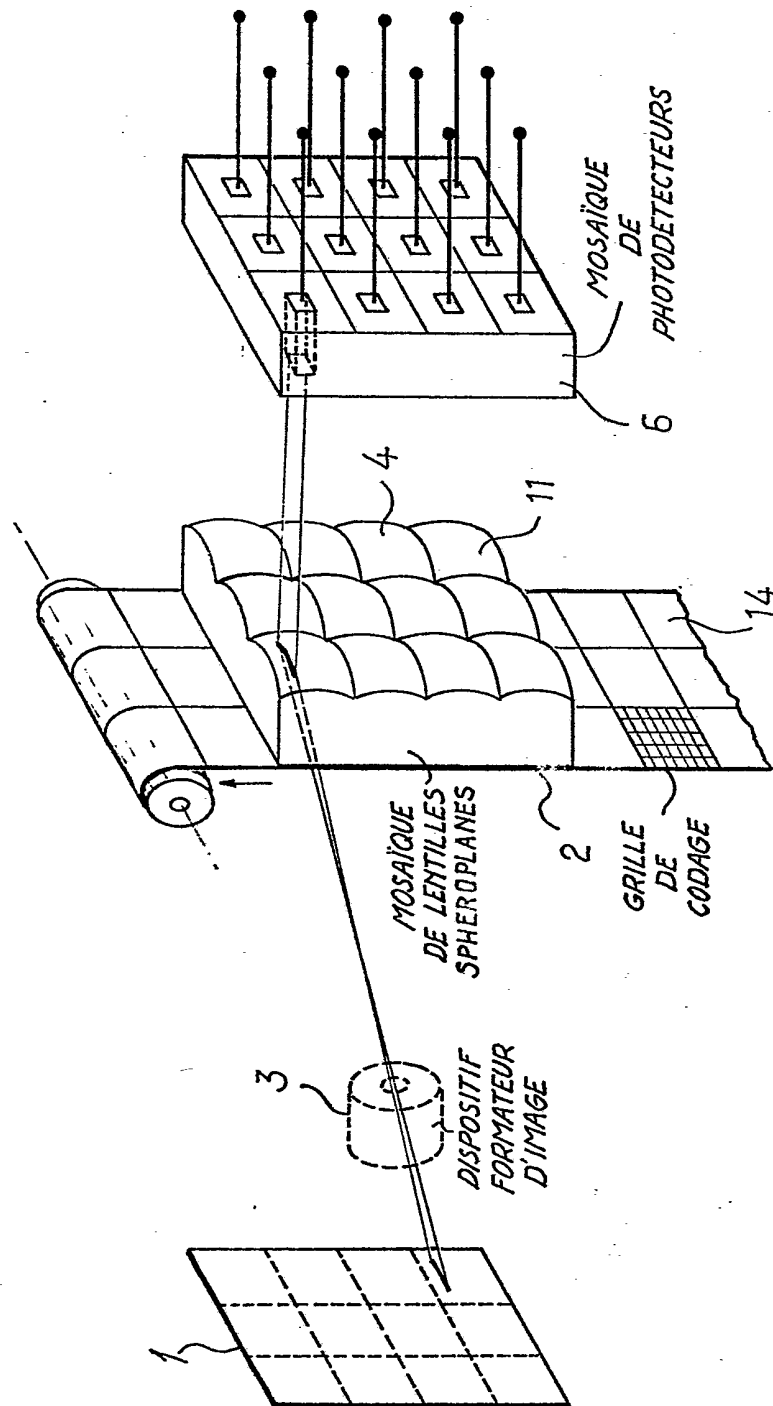
1/7

FIG. 1



2/7

FIG.3



3/7

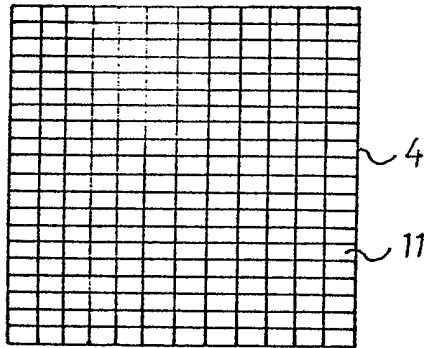


FIG. 4

00111	01100	10100	00111	01100
01100	10100	00111	01100	10100
10100	00111	01100	10100	00111
00111	01100	10100	00111	01100
01100	10100	00111	01100	10100
10100	00111	01100	10100	00111
00111	01100	10100	00111	01100
01100	10100	00111	01100	10100
10100	00111	01100	10100	00111

FIG. 7a

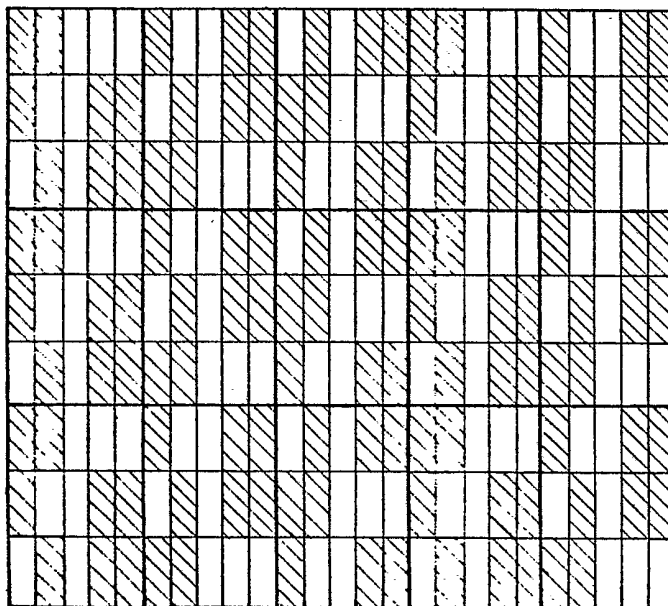
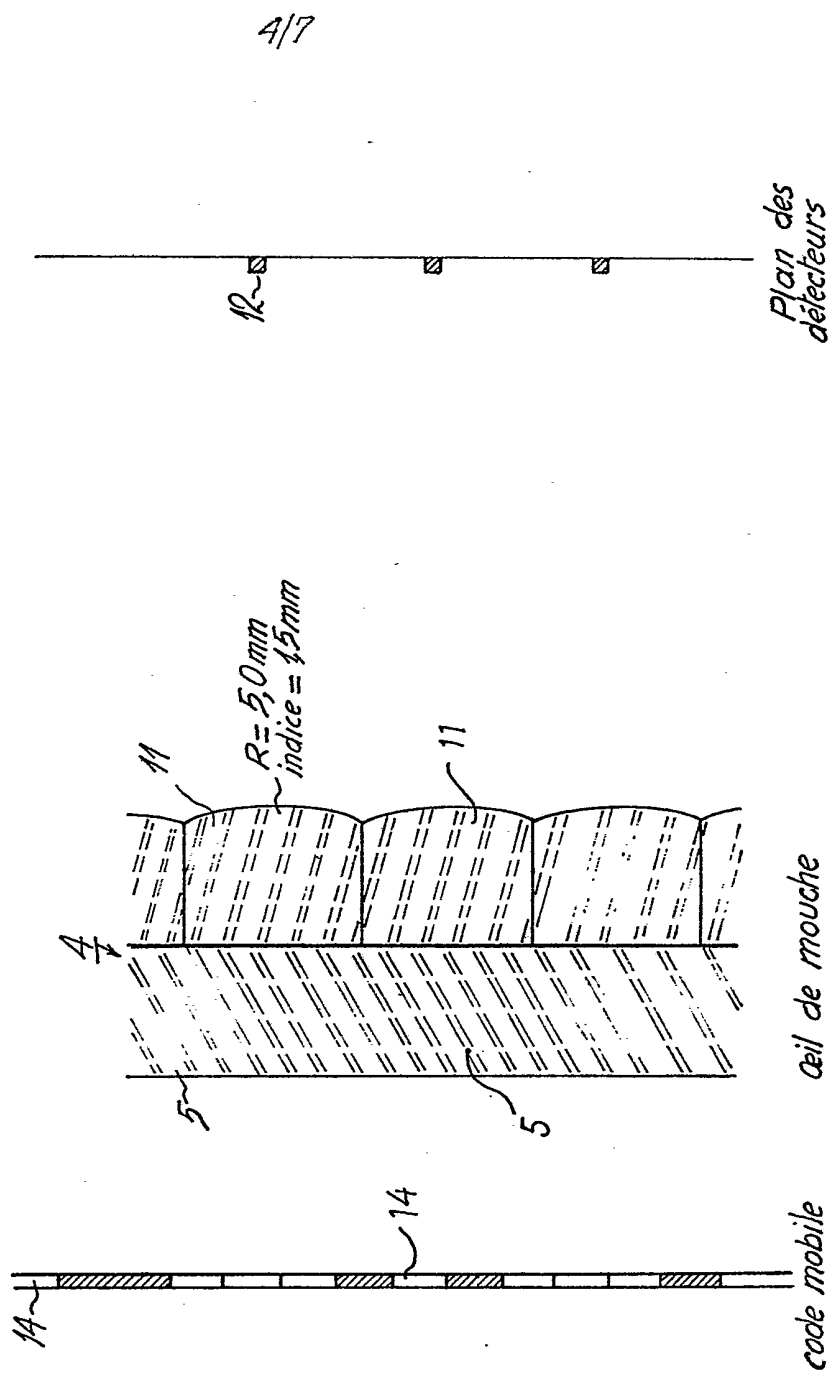


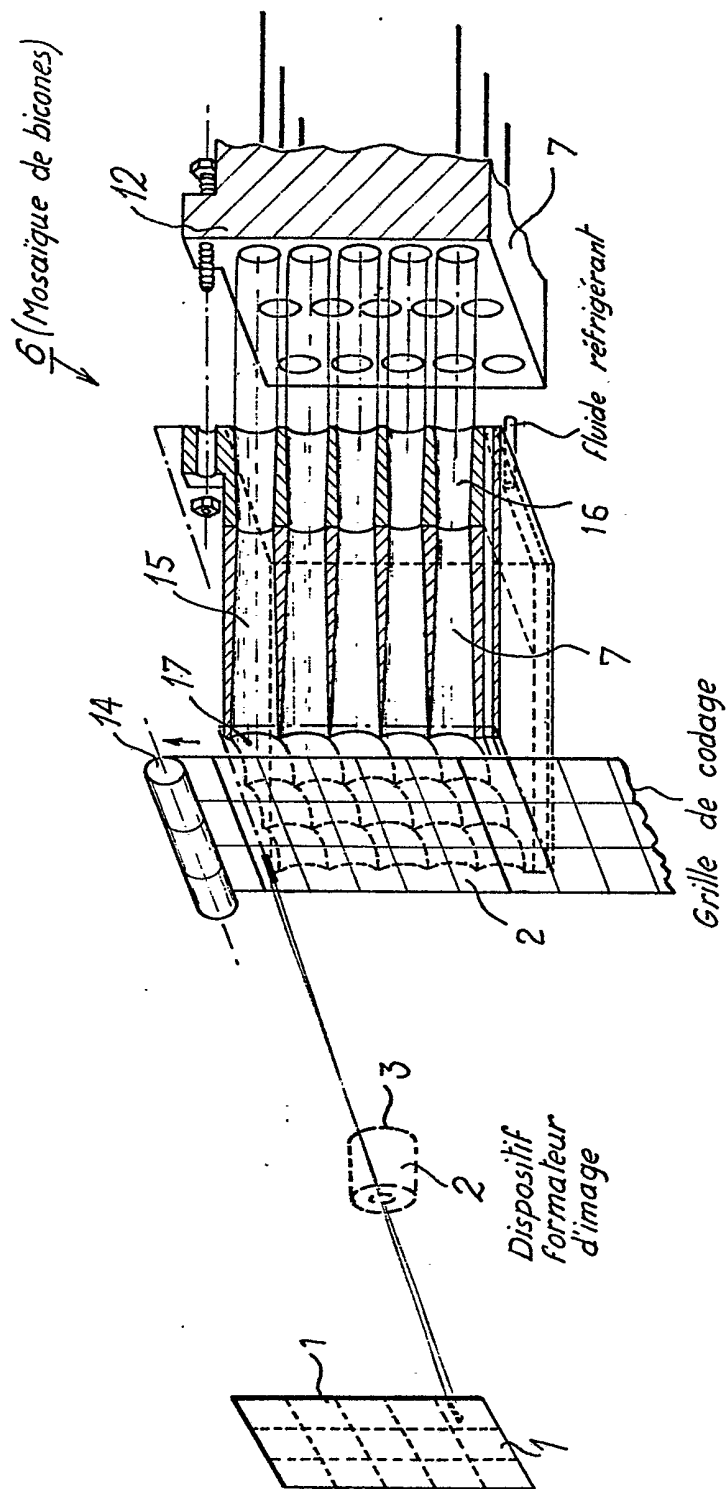
FIG. 7b

FIG. 5



5/7

FIG. 6



6/7

FIG. 8

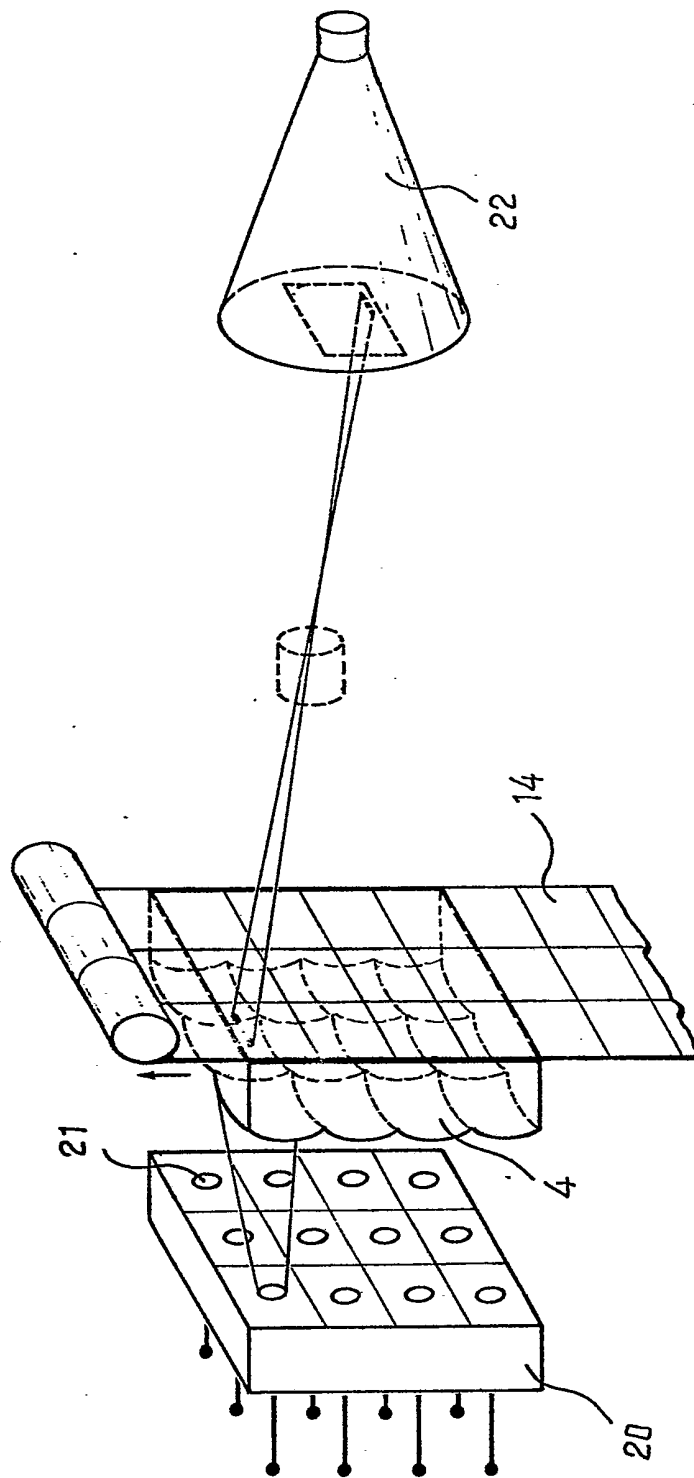


FIG. 9

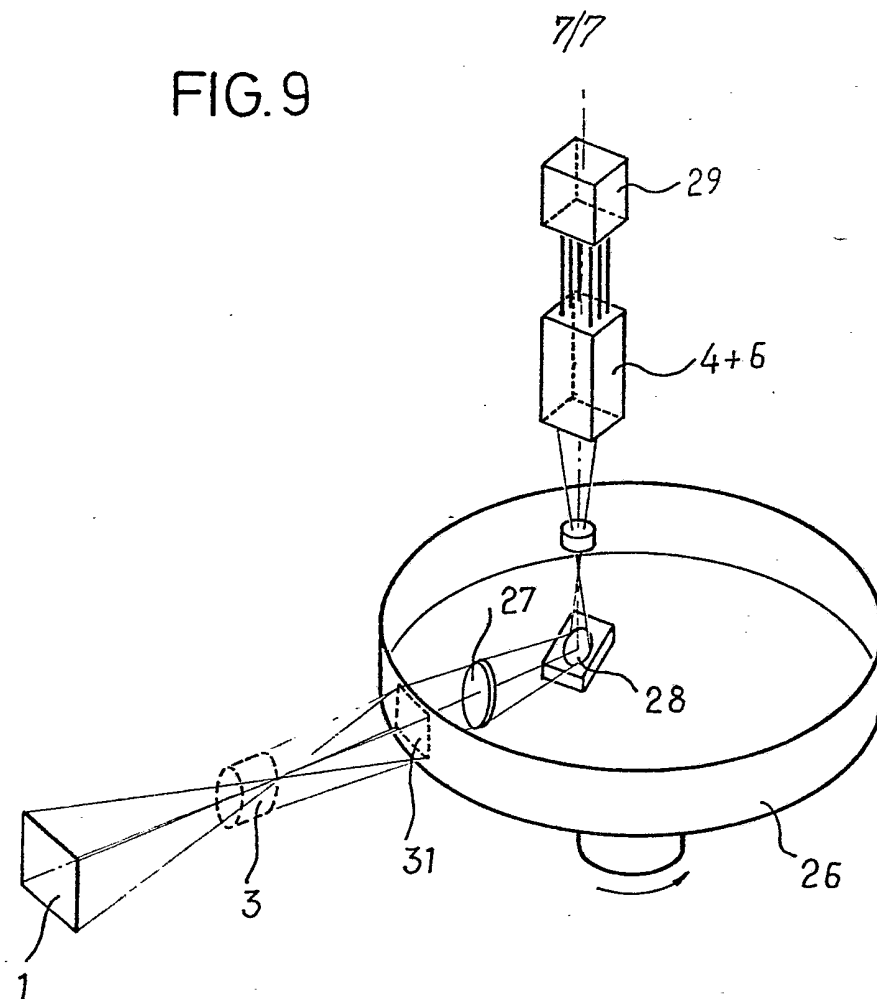


FIG. 10

