RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE (1) N° de publication : (A n'utiliser que pour les commandes de reproduction). 2 496 934

PARIS

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

N° 80 26911 21) (54) Appareil de tomographie axiale transversé à calculateur analogique. Classification internationale (Int. Cl. 3). G 06 G 7/48; A 61 B 6/02. Priorité revendiquée : (41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 25 du 25-6-1982. 71) Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, société anonyme, résidant en France. 72) Invention de : Jean Ricodeau et Henri Rougeot. (73) Titulaire: Idem (71) Mandataire :

APPAREIL DE TOMOGRAPHIE AXIALE TRANSVERSE A CALCULATEUR ANALOGIQUE

La présente invention concerne un appareil de tomographie axiale transverse à calculateur analogique.

La tomographie axiale transverse permet d'obtenir une image nette de la section transversale d'un corps.

Pour cela, il est nécessaire:

5

10

15

20

25

30

- d'une part, de mesurer l'intensité d'un faisceau de rayons X en éventail ayant traversé cette section, et de répéter cette mesure pour différentes positions angulaires du tube à rayons X et des détecteurs mesurant l'intensité du faisceau par rapport au corps à observer;

- d'autre part, à partir de ces mesures de reconstruire l'image nette de la section en utilisant un algorithme mathématique qui conduit à superposer les images élémentaires correspondant aux mesures faites pour chaque position angulaire, après avoir corrigé ces mesures.

La reconstruction de l'image est généralement réalisée à l'aide d'un calculateur numérique, qui donne de très bons résultats, mais qui présente l'inconvénient d'être coûteux puisqu'il représente à lui seul environ le tiers du prix total de l'appareil de tomographie.

C'est pourquoi il a été envisagé dans de nombreuses publications de remplacer le calculateur numérique par un calculateur analogique moins coûteux. C'est le cas par exemple dans l'article intitulé "Analog reconstruction methods for transaxial tomography", publié aux noms de H.H. BARRET et W. SWINDELL, dans la revue "Procedings of the I.E.E.E.", volume 65, numéro 1, de Janvier 1977, pages 89 à 107.

Dans ces publications, la correction des mesures est réalisée par un dispositif de filtrage optique et la superposition des images élémentaires se fait en utilisant un film photographique.

Les appareils ainsi obtenus ont essentiellement pour incon-

vénients le fait que les dispositifs de filtrage optique sont encombrants et le fait que l'utilisation de film photographique empêche de fonctionner en temps réel.

On connaît également, par l'article intitulé "A new method for cross-sectional imaging using X - rays" publié au nom de R.J. GELUK dans la revue "Optical acta", volume 26, numéro 11, 1979, pages 1367 à 1376, un appareil de tomographie axiale transverse à calculateur analogique qui peut fonctionner en temps réel car la superposition des images élémentaires s'y fait en utilisant un tube à mémoire. Par contre, la correction des mesures est réalisée de façon habituelle par un dispositif de filtrage optique qui est très encombrant car il comporte notamment deux photomultiplicateurs.

5

10

15

20

25

30

La présente invention concerne un appareil de tomographie axiale transverse à calculateur analogique qui ne présente pas les inconvénients des appareils de l'art antérieur. L'appareil selon l'invention permet notamment de fonctionner en temps réel et n'utilise pas de dispositif de filtrage optique mais un filtre électrique, un filtre transversal à transfert de charge plus précisément, qui est peu encombrant et peu coûteux.

La présente invention concerne un appareil de tomographie axiale transverse à calculateur analogique, qui utilise pour la reconstruction de l'image de la section transversale d'un corps l'algorithime d'épandage filtré par convolution et qui comporte :

- un tube à rayons X qui émet un faisceau de faible épaisseur traversant ladite section ;
 - au moins un détecteur de l'intensité du faisceau de rayons X;
- des moyens fournissant à intervalles réguliers des mesures de l'intensité du faisceau, ces moyens fournissant, pour chaque section examinée:

. M séries de N mesures, \mathbf{I}_1 à \mathbf{I}_N , de l'intensité du faisceau ayant traversé le corps, les N mesures de chaque série étant réalisées en des points, \mathbf{r}_1 à \mathbf{r}_N , alignés et régulièrement espacés et les M séries de N mesures correspondant aux M positions angulaires, $\boldsymbol{\phi}_1$ à $\boldsymbol{\phi}_M$, distinctes du tube à rayons X et des détecteurs par rapport

au corps;

5

10

15

20

25

30

- . des mesures de l'intensité $I_{\rm O}$ du rayonnement n'ayant pas traversé le corps qui sont intercalées entre deux séries de N mesures successives ;
- un convertisseur logarithmique qui fournit pour chaque mesure I_i de l'intensité du faisceau la grandeur : Ln (I_0 / I_i) ;
- au moins, un filtre transversal à transfert de charge, relié à la sortie du convertisseur, qui réalise, pour chaque section examinée, le filtrage par convolution, tel qu'il est défini par l'algorithme, des M séries de N grandeurs $\operatorname{Ln}(I_O/I_i) = \operatorname{p}(r_i, \phi_k)$ avec i=1 à N et k=1 à M, ce filtre fournissant, pour chaque section examinée M séries de N grandeurs $\operatorname{p}^*(r_i, \phi_k)$;
- au moins, un dispositif de projection sur une surface photosensible, pour chaque section examinée, de M séries de N lignes lumineuses dont la luminance est proportionnelle aux valeurs des M séries de N grandeur p * (\mathbf{r}_i , ϕ_k) élaborées par le filtre pour cette section, la géométrie des lignes reproduisant celle du trajet à travers la section du rayonnement X dont l'intensité a été mesurée et le mouvement relatif de rotation du tube à rayons X et des détecteurs par rapport au corps à observer se faisant en synchronisme avec le mouvement de rotation du dispositif de projection par rapport à la surface photosensible, ce dispositif réalisant l'épandage tel qu'il est défini par l'algorithme d'épandage filtré par convolution.

D'autres objets, caractéristiques et résultats de l'invention ressortiront de la description suivante donnée à titre d'exemple non limitatif et illustrée par les figures annexées qui représentent :

- La figure 1, le schéma d'un mode de réalisation de l'appareil selon l'invention ;
- La figure 2, l'allure des lignes obtenues sur l'écran du tube à rayons cathodiques que comporte l'appareil selon l'invention dans un de ses modes de réalisation;
- Les figures 3a, b, et c, les tensions de commande du tube à rayons cathodiques que comporte l'appareil selon l'invention dans un

de ses modes de réalisation.

5

10

15

20

25

30

Sur les différentes figures, les mêmes repères désignent les mêmes éléments, mais, pour des raisons de clarté, les cotes et proportions des divers éléments ne sont pas respectées.

La figure 1 représente le schéma d'un mode de réalisation de l'appareil selon l'invention.

Un faisceau de rayon X, en éventail et de faible épaisseur, est produit par un tube à rayons X 1, suivi par un écran porteur d'une fente longitudinale qui n'est pas représenté sur la figure. Les contours du faisceau, repéré par 2, sont représentés en pointillés sur la figure.

La zone du corps à observer 3 qui est traversée par l'éventail correspond à la section transversale à visualiser.

Une rangée de détecteurs 4, alignés selon un axe r' r, intercepte l'éventail de rayons X:

- N détecteurs, D_1 à D_N , fournissent des mesures, I_1 à I_N , de l'intensité du faisceau ayant traversé le corps et arrivant aux points r_1 à r_N de l'axe r' r;
- un détecteur $\mathbf{D_0}$ fournit la mesure $\mathbf{I_0}$ de l'intensité du faisceau ne traversant pas le corps.

Pour la détection, on peut utiliser, par exemple :

- des détecteurs à gaz ;
- un scintillateur suivi d'une "barrette" de photo-diodes ou d'une rangée de photo-multiplicateurs;
- ${\color{red}\textbf{-}}$ un intensificateur d'images radiologiques suivi d'une "barrette" de photo-diodes.

Pour obtenir l'image d'une section, il faut effectuer les mesures $\mathbf{I_0}$ et $\mathbf{I_1}$ à $\mathbf{I_N}$ de l'intensité du rayonnement X pour M positions angulaires distinctes, ϕ_1 à ϕ_M , du tube à rayons X et des détecteurs par rapport au corps.

Sur la figure, une flèche incurvée indique le mouvement de rotation relatif du tube et des détecteurs par rapport au corps.

L'appareil est représenté sur la figure dans une position angulaire $\phi_{\mathbf{k}}$ quelconque.

La position angulaire ϕ_k est repérée par l'angle ϕ_k entre les axes y' y et Y' Y. Les axes x' x et y' y et les axes X' X et Y' Y sont orthogonaux. Les axes x' x et y' y servent de référence et l'axe Y' Y passe par le centre du tube à rayons X.

L'appareil selon l'invention utilise pour la reconstruction de l'image l'algorithme d'épandage filtré par convolution.

5

10

15

20

30

On connaît cet algorithme par l'article publié dans la revue "Physical medical biological", en 1976, volume 21, numéro 5, pages 707, 710, 713 et 714 et intitulé: "Principles of computer assisted tomography".

On va rappeler brièvement les opérations essentielles à réaliser pour la mise en oeuvre de cet algorithme et qui sont le filtrage par convolution et l'épandage - on pose p $(r_i, \phi_L) = Ln (I_0 / I_i)$ avec i = 1 à N et k = 1 à M -:

- le filtrage par convolution tel qu'il est défini par l'algorithme conduit à faire correspondre à chaque valeur p (r_i, ϕ_i) une valeur

$$p^{*}(r_{i}, \phi_{k})$$
 qui s'écrit:
 $p^{*}(r_{i}, \phi_{k}) = \frac{1}{4w} \cdot p(r_{i}, \phi_{k}) - \frac{1}{7^{2}w} \cdot \sum_{j=1}^{N} p(r_{j}, \phi_{k}) / (i - j)^{2} (i)$

. avec j impair et tel que (i -j) soit impair ;

. avec w = 1 / 2 k_{M} , k_{M} représentant la fréquence spatiale maximale choisie et w représentant la distance $(r_{i+1} - r_i)$ entre deux détecteurs successifs sur l'axe r' r;

- l'épandage tel qu'il est défini par l'algorithme s'écrit :

$$(x, y) = \int_{0}^{\infty} p^{*}(r_{i}, \phi) \cdot d\phi$$

= $\int_{0}^{\pi} p^{*}(x.\cos \phi + y.\sin \phi, \phi) \cdot d\phi$ (II) o . ν représente la répartition selon les coordonnées x et y du

coefficient d'atténuation des rayons X dans la section transversale à visualiser.

Si on tient compte du bruit dont sont entachées les mesures I, I₁ ... I_N et du fait que le générateur de rayons X n'est pas placé à l'infini - voir à ce sujet l'article "Reconstruction from divergent ray data", publié en janvier 75 par "The State University of New York at Buffalo- Departement of Computer Science", la fonction de filtrage à réaliser peut s'écrire :

à réaliser peut s'écrire : $p * (r_i, \phi_k) = \frac{1}{4w} \cdot p (r_i, \phi_k) - \frac{1}{\pi^2 w} \cdot \sum_{j=1}^{N} a (i - j) \cdot p (r_j, \phi_k)$ (III)

. a (i - j) est une fonction de (i -j).

5

10

- 15

20

25

30

On a alors à réaliser une fonction de filtrage possédant des coefficient positifs et des coefficients négatifs, de diverses valeurs.

Des moyens 5 sont reliés aux détecteurs et fournissent à intervalles réguliers des mesures de l'intensité du faisceau.

Pour chaque section examinée, ces moyens fournissent:

- M séries de N mesures, \mathbf{I}_1 à \mathbf{I}_N , où M est de l'ordre de 180 et N de l'ordre de 300 ;
- des mesures, I_o, qui sont intercalées entre deux séries de N mesures successives.

Ces moyens peuvent être constitués par un multiplexeur relié aux détecteurs \mathbf{D}_0 et \mathbf{D}_1 à \mathbf{D}_N ou par un registre à décalages à transfert de charges.

Sur la figure 1, on a représenté, de façon symbolique, le signal en sortie des moyens 5 sur la connexion reliant ces moyens au reste de l'appareil.

A la sortie des moyens 5 se trouve relié un convertisseur logarithmique 6 qui fournit pour chaque mesure I_i de l'intensité du faisceau la grandeur : Ln (I_0 / I_i) .

Ce convertisseur peut être réalisé par un amplificateur opérationnel comportant une diode entre son entrée négative et sa sortie.

Ce convertisseur peut aussi réaliser, en plus, des corrections portant sur la linéarité des détecteurs.

A la sortie du convertisseur est relié un filtre transversal à transfert de charge 7.

Les filtres transversaux à transfert de charge sont maintenant bien connus ; ils sont décrits, par exemple, dans l'ouvrage de C.H. SEQUIN et M.F. TOMPSETT intitulé "Charge transfer devices", pages 216 à 227.

5

10

15

20

25

30

Le filtre 7 réalise le filtrage tel qu'il est défini par la relation III précédente.

Pour chaque section examinée, il fait correspondre aux M séries de N grandeurs Ln $(I_0/I_1) = p(r_1, \phi_k)$, avec i = 1 à N et k = 1 à M, M séries de N grandeurs $p * (r_1, \phi_k)$.

Le nombre de mesures I_{0} séparant deux séries de mesures successives I_{1} à I_{N} doit être au moins égal au nombre n d'électrodes de pondération, coupées en deux parties, du filtre transversal à transfert de charge 6. Ainsi, on ne trouve jamais simultanément dans le filtre 6 des grandeurs Ln (I_{0} / I_{i}) se rapportant à deux séries de mesures successives.

Sur la figure 1, on a représenté de façon symbolique, le signal en sortie du filtre 7 sur la connexion reliant ce filtre au reste de l'appareil. On a représenté deux séries de N grandeurs $p * (r_i, \phi_k)$ et $p * (r_i, \phi_{k+1})$ avec i = 1 à N, qui sont séparées par des grandeurs correspondant au traitement des mesures I_o .

En sortie du filtre 7, on obtient pour chaque section examinée M série de N grandeurs p $*(r_i, \phi_k)$ dont certaines sont positives et d'autres sont négatives. La sortie du filtre 6 est reliée à des moyens 8 qui envoient les grandeurs p $*(r_i, \phi_k)$ positives sur une voie V_P et les grandeurs p $*(r_i, \phi_k)$ négatives sur une autre voie V_N . Les deux voies V_P et V_N sont identiques et la voie V_N n'a pas été représentée en détail sur la figure.

Les moyens 8 peuvent, par exemple, être constitués par un amplificateur à écrêtage par diode, ou par multiplexeur commandé par un comparateur.

Sur chaque voie $\mathbf{V}_{\mathbf{P}}$, et $\mathbf{V}_{\mathbf{N}}$, on trouve des moyens 9 de commande d'un tube à rayons cathodiques 10.

Les moyens 9 commandent le balayage trame du tube à rayons cathodiques 10 de façon que l'écran du tube soit balayé en N lignes et que la géométrie des lignes reproduise celle des trajets à travers la section du rayonnement X dont l'intensité a été mesurée pour aboutir aux grandeurs p (r_i, ϕ_k) , puis p (r_i, ϕ_k) .

La figure 2 montre l'allure des N lignes obtenues sur l'écran du tube à rayon cathodique. Ces lignes ne sont pas parallèles et convergent vers un point P.

Le cercle en pointillé 11 représente la limite du champ image et le carré 12 les limites de l'écran du tube à rayons cathodiques.

5

10

15

20

25

30

La figure 3c montre la tension de balayage trame qui doit être utilisée.

Les moyens 9 commandent aussi l'intensité du spot pour que la luminance des N lignes soit proportionnelle aux valeurs de chaque série de N grandeurs p $*(r_i, \phi_k)$.

Sur la figure 2, on a relié par des pointillés les N lignes de l'écran à N grandeurs p # (r_i, ϕ_k) , avec i = I à N et k fixé, pour symboliser la relation qui existe entre la valeur de chaque grandeur p # (r_i, ϕ_k) et la luminance des lignes et entre le trajet à travers la section du rayonnement X dont l'intensité a été mesurée pour aboutir à chaque grandeur p (r_i, ϕ_k) puis p # (r_i, ϕ_k) et la géométrie des lignes.

Sur la figure 3a, on a représenté la tension dite "de blanking" qui permet l'effacement du spot lorsqu'il va de la fin d'une ligne au début de la ligne suivante. Sur la figure 3b, on a représenté la tension de balayage ligne.

Pour que l'appareil fonctionne en temps réel, il faut que la période de la tension de balayage ligne soit égale au temps séparant deux lectures successives de l'intensité du rayonnement I_i et I_{i+1} .

L'image des N lignes de l'écran du tube à rayons cathodique est projetée grâce à une optique de caméra 13 sur une surface photosensible 14.

Cette surface photosensible peut être la cible d'un vidicon ou une matrice d'éléments photosensibles à l'état solide, du type CCD ou CID.

Cette surface photosensible est animée d'un mouvement de rotation, indiqué par une flèche sur la figure 1, de façon que le mouvement relatif de rotation du tube à rayons X et des détecteurs par rapport au corps à observer se fasse en synchronisme avec le mouvement de rotation du dispositif de projection, constitué par le tube à rayon cathodique 10 et l'optique de caméra 13, par rapport à la surface photosensible 14.

On réalise ainsi l'épandage tel qu'il est défini par la relation II précédente.

Pour reconstruire l'image d'une section donnée, la surface photosensible reçoit successivement M images de N lignes sous des angles correspondant à ceux sous lesquels on a effectué M séries de N mesures sur la section.

La surface photosensible de la voie $V_{\mathbf{p}}$ contient les composantes positives de l'image de la section et la surface photosensible de la voie $V_{\mathbf{N}}$ ses composantes négatives.

Des moyens 15 permettent de lire simultanément ces deux surfaces photosensibles et de soustraire les composantes négatives aux composantes positives.

On stocke ensuite l'image sur un magnétoscope 17 ou un vidéodisque 16 pour pouvoir la visualiser à volonté sur un moniteur 18.

Une horloge de synchronisation 19 envoie des signaux de commande aux différents éléments de l'appareil.

On va maintenant décrire quelques variantes de l'appareil selon l'invention.

Selon une première variante, on remplace le faisceau de rayons X en éventail et la rangée de détecteurs par un faisceau étroit et un seul détecteur. Pour une position angulaire donnée du tube à rayons X et du détecteur par rapport au corps, des moyens permettent de déplacer le tube à rayons X et le détecteur de façon à réaliser N mesures I₁ à I_N de l'intensité du faisceau ayant traversé le corps et la mesure I₀ de l'intensité du faisceau ne traversant pas le corps. Pour obtenir l'image de la section transversale d'un corps, on effectue toujours M séries de mesures correspondant à M positions angulaires données.

Selon une autre variante de l'appareil selon l'invention, on utilise à la place du filtre 7 deux filtres transversaux à transfert de charge, identiques au filtre 7 et en parallèle.

10

5

20

15

30

Les deux filtres en parallèle sont alors précédés par des moyens qui envoient une série de N grandeurs Ln $(I_0 / I_i) = p (r_i, \phi_k)$ sur un filtre et la série suivante sur l'autre filtre ; de plus, lorsqu'une série de N grandeurs Ln (I_0 / I_i) avec i = 1 à N est envoyée sur un filtre, l'autre filtre reçoit simultanément des grandeurs Ln (I_0 / I_i) .

L'utilisation de deux filtres en parallèle permet de diminuer le nombre de mesures I_0 séparant deux séries de mesures successives I_1 à I_N , et en particulier de la rendre inférieur à n, qui est le nombre d'électrodes de pondération des filtres. On diminue ainsi le temps perdu par les mesures I_0 .

Selon une autre variante de l'invention, on n'utilise plus deux voies $V_{\mathbf{p}}$ et $V_{\mathbf{N}}$ mais une seule voie identique à ces voies. Pour cela, on ajoute un fond continu aux valeurs $\mathbf{p} \not \propto (\mathbf{r}_{\mathbf{i}}, \mathcal{O}_{\mathbf{k}})$ issues du ou des filtres de façon à rendre toutes ces valeurs positives. On lit l'image sur la surface photosensible et on règle le niveau de noir du moniteur pour éliminer le fond continu, précédemment ajouté, dans l'image reconstruite. Cette variante de l'appareil selon l'invention est plus économique que celle comportant deux voies, mais l'image obtenue comporte davantage de bruit.

Selon une dernière variante de l'appareil selon l'invention, on remplace le tube à rayons cathodique 10, l'optique de caméra 13 et la surface photosensible 14 par un tube à mémoire. Comme dans le cas de l'utilisation du tube à rayons cathodique, des moyens 9 commandent le tube à mémoire et permettent en particulier de faire tourner la direction de balayage de l'écran en synchronisme avec le mouvement relatif de rotation du tube et des détecteurs par rapport au corps.

REVENDICATIONS

- 1. Appareil de tomographie axiale transverse à calculateur analogique, permettant d'obtenir une image de la section transversale d'un corps et utilisant pour la reconstruction de l'image de la section l'algorithme d'épandage filtré par convolution comportant:
- une tube à rayons X (1) qui émet un faisceau (2) de faible épaisseur traversant ladite section ;

5

10

15

20

25

- au moins un détecteur de l'intensité du faisceau de rayons X ; caractérisé en ce qu'il comporte :
- des moyens (5) fournissant à intervalles réguliers des mesures
 de l'intensité du faisceau, ces moyens fournissant, pour chaque section examinée :
- . M séries de N mesures, I_1 à I_N , de l'intensité du faisceau ayant traversé le corps, les N mesures de chaque série étant réalisés en des points $(r_1$ à r_N) alignés et régulièrement espacés et les M séries de N mesures correspondant à M positions angulaires $(\phi_1$ à ϕ_M) distinctes du tube à rayons X et des détecteurs par rapport au corps;
- . des mesures de l'intensité $I_{\rm O}$ du rayonnement n'ayant pas traversé le corps qui sont intercalées entre deux séries de N mesures successives ;
- un convertisseur logarithmique (6) qui fournit pour chaque mesure I_i de l'intensité du faisceau la grandeur : Ln (I_0 / I_i);
- au moins un filtre transversal à transfert de charge (7), relié à la sortie du convertisseur, qui réalise, pour chaque section examinée, le filtrage par convolution, tel qu'il est défini par l'algorithme, des M séries de N grandeurs Ln $(I_0/I_i) = p(r_i, \phi_k)$ avec i=1 à N et k=1 à M, ce filtre fournissant, pour chaque section examinée, M séries de N grandeurs $p^*(r_i, \phi_k)$;
- au moins, un dipositif de projection sur une surface photosensible (14), pour chaque section examinée, de M séries de N lignes lumineuses dont la luminance est proportionnelle aux valeurs des M séries de N grandeurs p $*(r_i, \phi_k)$ élaborées par le filtre pour cette

section, la géométrie des lignes reproduisant celle du trajet à travers la section du rayonnement X dont l'intensité a été mesurée et le mouvement relatif de rotation du tube à rayons X et des détecteurs par rapport au corps à observer se faisant en synchronisme avec le mouvement de rotation du dispositif de projection par rapport à la surface photosensible, ce dispositif réalisant l'épandage tel qu'il est défini par l'algorithme d'épandage filtré par convolution.

5

10

15

20

25

- 2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un tube à rayons X (1) fournissant un faisceau étroit et un seul détecteur, des moyens assurant pour chaque position angulaire donnée du tube à rayons X et du détecteur par rapport au corps, le déplacement du tube à rayons X et du détecteur de façon à réaliser X mesures, X il X X, de l'intensité du faisceau ayant traversé le corps et la mesure X de l'intensité du rayonnement n'ayant pas traversé le corps.
- 3. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un tube à rayons X (1), suivi par un écran porteur d'une fente longitudinale, qui fournit un faisceau en éventail (2) et une rangée de détecteurs (D_0 , D_1 à D_N) alignés fournissant N mesures, I_1 à I_N , de l'intensité du faisceau ayant traversé le corps et la mesure I_0 de l'intensité du rayonnement n'ayant pas traversé le corps.
- 4. Appareil selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les moyens (5) fournissant à intervalles réguliers des mesures de l'intensité du faisceau sont constitués par un multiplexeur relié aux détecteur (D_O , D_1 à D_N).
- 5. Appareil selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les moyens (5) fournissant à intervalles réguliers des mesures de l'intensité du faisceau sont constitués par un registre à décalage à transfert de charges.
- 6. Appareil selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte un seul filtre transversal à transfert de charges (7) comportant n électrodes de pondération coupées en deux parties, et

en ce que chaque série de N mesures I_1 à I_N est séparée de la suivante par au moins n mesures I_0 .

7. Appareil selon l'une des revendication 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte deux filtres transversaux à transfert de charge, identiques et en parallèle, ces filtres étant précédés par des moyens qui envoient une série de N grandeurs Ln (I_0/I_i), avec i=1 à N sur un filtre et la série suivante sur l'autre filtre, le filtre ne recevant pas la série de N grandeurs Ln (I_0/I_i) avec i=1 à N recevant des grandeurs Ln (I_0/I_0), et caractérisé en ce que le nombre de mesures I_0 séparant deux séries de mesures I_1 à I_N , successives est inférieur au nombre n d'électrodes de pondération des filtres.

5

10

15

20

25

- 8. Appareil selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le ou les filtres à transfert de charge sont reliés à des moyens (8) qui envoient les grandeurs p $\#(r_i, \phi_k)$ positives sur une voie (V_p) et les grandeurs p $\#(r_i, \phi_k)$ négatives sur une autre voie (V_N) , les deux voies étant identiques.
- 9. Appareil selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens (8) sont constitués par un amplificateur à écrêtage par diode.
- 10. Appareil selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens (8) sont constitués par un multiplexeur commandé par un comparateur.
- 11. Appareil selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le ou les filtres à transfert de charges sont reliés à une voie unique comportant des moyens superposant un fond continu aux valeurs $p \not \ (r_i, \phi_k)$ de façon à rendre toutes ces valeurs positives.
- 12. Appareil selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le dispositif de projection est constitué par un tube à rayons cathodiques (10) dont l'image de l'écran est projetée grâce à une optique de caméra (13) sur la surface photosensible.
- 13. Appareil selon la revendication 12, caractérisé en ce que des moyens (9) commandent l'intensité du spot, le balayage ligne et le balayage trame du tube à rayons cathodiques (10)..
 - 14. Appareil selon l'une des revendications 12 ou 13, carac-

térisé en ce que la surface photosensible est constituée par une matrice d'éléments photosensibles à l'état solide, du type CCD ou CID.

15. Appareil selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que la surface photosensible est constituée par la cible d'un vidicon.

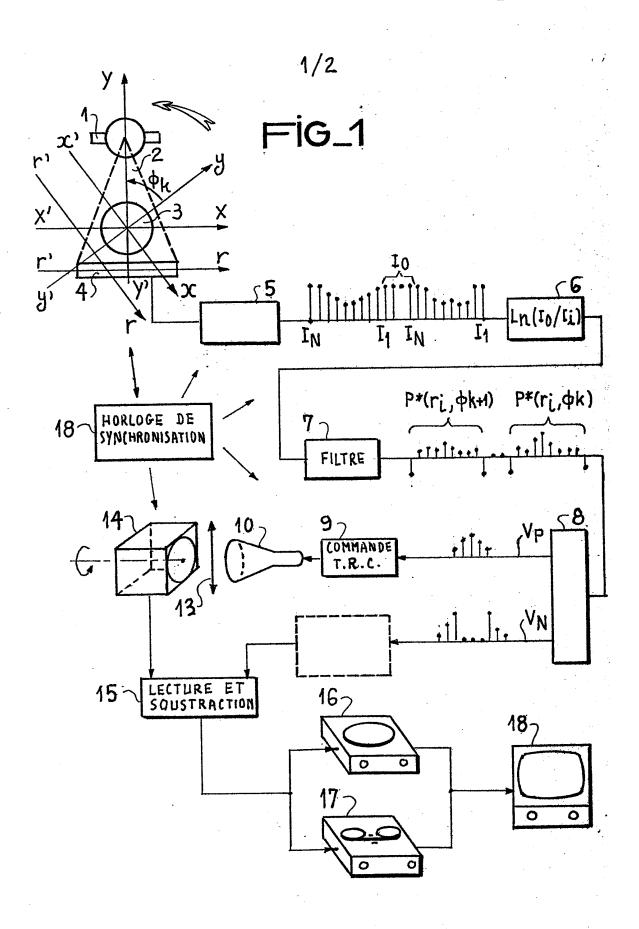
5

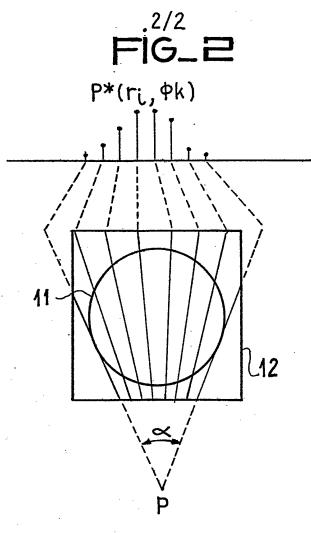
10

15

20

- 16. Appareil selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le dispositif de projection et la surface photosensible sont constitués par un tube à mémoire.
- 17. Appareil selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (15) permettant de lire simultanément les deux surfaces photosensibles des deux voies et de soustraire les composantes négatives de l'image aux composantes positives, avant de stocker l'image.
- 18. Appareil selon la revendication 11, caractérisé en ce que des moyens assurent la lecture de l'image sur la surface photosensible photosensible (14), puis son stockage sur un magnétoscope (17) ou un vidéo-disque (16), afin de permettre sa visualisation sur un moniteur (18), dont on règle le niveau de noir pour éliminer le fond continu précédemment ajouté.
- 19. Appareil selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisé en ce que la période de la tension de balayage ligne du tube à rayon cathodique ou du tube à mémoire est égale au temps séparant deux lectures successives des détecteurs mesurant l'intensité du rayonnement.





FIG_3

