

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
 PARIS

11) N° de publication : **2 919 962**
 (à n'utiliser que pour les
 commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **07 05824**

51) Int Cl⁸ : H 01 L 27/146 (2006.01), H 04 N 5/33, G 01 J 5/20

12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

22) Date de dépôt : 10.08.07.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 13.02.09 Bulletin 09/07.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

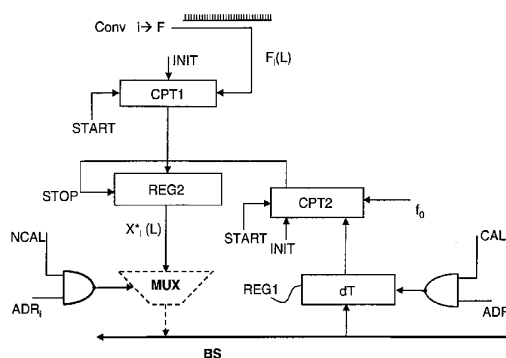
72) Inventeur(s) : CHAMMING S GILLES.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE.

54) **PROCEDE DE CORRECTION DE SENSIBILITE ET CAPTEUR D'IMAGE MATRICIEL POUR LA MISE EN OEUVRE DE CE PROCEDE.**

57) L'invention concerne les capteurs d'image matriciels, et plus particulièrement un procédé pour corriger le bruit spatial engendré par la dispersion des propriétés physiques des différents pixels de la matrice. Selon l'invention, on établit pixel par pixel un signal $X_i(L)$ correspondant à l'éclairement d'un pixel P_i par une luminance L ; on définit une référence fixe K_0 pour ce signal, la valeur K_0 étant choisie telle que pour une luminance L_0 donnée les pixels fournissent tous un signal $X_i(L_0)$ identique égal à K_0 ; et on établit un signal $X^*_i(L)$ corrigé en appliquant au signal $X_i(L) - K_0$ ainsi référencé un coefficient correcteur multiplicatif spécifique au pixel considéré, le coefficient correcteur étant déterminé à partir du signal $X_i(L_r)$ fourni par le pixel P_i pour une luminance de référence déterminée L_r qui est la même pour tous les pixels. Le coefficient correcteur est de préférence stocké dans un registre d'initialisation REG1 spécifique au pixel, qui contient une valeur dT_i de modulation de temps d'intégration d'une fréquence de comptage représentant la luminance.



FR 2 919 962 - A1



PROCEDE DE CORRECTION DE SENSIBILITE ET CAPTEUR D'IMAGE MATRICIEL POUR LA MISE EN ŒUVRE DE CE PROCEDE

L'invention concerne les capteurs d'image matriciels, et elle concerne plus particulièrement un procédé pour corriger le bruit spatial engendré par la dispersion des propriétés physiques des différents points sensibles élémentaires, ou pixels, de la matrice. Ce bruit spatial est
5 particulièrement important dans le cas de capteurs d'image infrarouges, que ce soient des capteurs à éléments photovoltaïques, qui mesurent des courants engendrés par le rayonnement infrarouge, ou des capteurs à éléments bolométriques, qui mesurent une température résultant d'un échauffement produit par le rayonnement.

10 Le bruit spatial engendre une image parasite qui détériore l'image utile ou même la rend inexploitable : en supposant que la scène observée par le capteur est une image de luminance uniformément moyenne, le capteur fournit une image non-uniforme, ce qui est inacceptable si cette non-uniformité excède un certain degré ; de plus, l'image observée dépend du
15 niveau de cette luminance uniforme, ce qui rend ce bruit encore plus gênant puisque la différence de comportement de deux pixels dépend de la luminance qu'ils reçoivent.

Le comportement des pixels diffère en effet d'un pixel à l'autre non seulement en ce qui concerne le niveau de signal produit pour un niveau de
20 luminance de référence, mais aussi en ce qui concerne la pente de croissance de la courbe de réponse du pixel en fonction de la luminance.

Pour réduire au minimum le bruit spatial ainsi engendré dans un capteur matriciel, on a déjà proposé de mesurer les niveaux de signaux de sortie des différents pixels pour une image uniforme de luminance donnée et
25 de décaler individuellement le niveau de signal de chaque pixel pour que tous les pixels soient ramenés à une même référence (correction au premier ordre). On a également proposé de relever les niveaux pour deux niveaux de luminance uniforme différents, afin de corriger non seulement le décalage de niveau mais aussi la pente de variation (correction au deuxième ordre).

Pour corriger à la fois le niveau et la pente, après avoir mesuré les signaux issus de chaque pixel pour deux luminances uniformes différentes, on peut par exemple procéder de la manière suivante :

5 - dans la première étape, on effectue une correction qui ramène le niveau du signal à une même valeur commune à tous les pixels pour l'un des niveaux d'éclairage uniforme, valeur qu'on peut considérer comme une valeur de référence ;

10 - dans la deuxième étape, après avoir décalé le niveau de signal de chaque pixel d'une valeur propre à ce pixel, on effectue une correction de gain pour que la pente de variation autour de la valeur de référence du signal corrigé soit la même pour tous les pixels ; on calcule pour chaque pixel la différence entre les signaux corrigés obtenus pour les deux luminances, et on détermine pour chaque pixel un gain tel que cette différence multipliée par le gain soit égale à une

15 valeur commune à tous les pixels ; on effectue ensuite pour chaque pixel une correction qui consiste à multiplier la différence entre le niveau de signal corrigé et la valeur de référence par le gain propre à ce pixel ; cela donne un signal doublement corrigé qu'on rajoute à la valeur de référence commune pour obtenir le signal définitif.

20 Ces méthodes nécessitent donc en pratique, pour la prise en compte de la dispersion de niveau et la prise en compte de la dispersion de gain un calibrage manuel à partir d'une ou deux images uniformes présentant des luminances de référence, ce qui est gênant ; par ailleurs, ce calibrage doit être refait si le bruit spatial dérive au cours du temps.

25 Il a aussi été proposé d'effectuer des calculs correctifs de chacun des points de l'image recueillie, à partir de l'observation d'un grand nombre d'images successives, en faisant l'hypothèse que la moyenne statistique et la variance statistique des niveaux de lumière reçus par un pixel est la même pour tous les pixels en raison de la diversité des images reçues au cours du

30 temps. Ainsi, on calcule la moyenne des signaux reçus dans le temps pour chaque pixel et on effectue une correction du signal courant du pixel pour décaler le niveau courant d'une valeur correspondant à l'écart entre la moyenne détectée pour ce pixel et une valeur de référence de moyenne commune à tous les pixels. Ceci ramène le niveau moyen de tous les

35 signaux à la même valeur de référence, cette valeur de référence étant issue

d'une moyenne statistique et non de l'observation d'un écran de luminance uniforme de référence.

De même on calcule la variance pour chaque pixel sur un grand nombre d'images, cette variance représentant en quelque sorte une
5 approximation de la pente de la courbe de variation du niveau de signal en fonction de la luminance, et on applique une correction de gain aux variations de signal courant, la correction étant l'écart entre la variance calculée et une variance de référence commune à tous les pixels. La variance de référence peut être une moyenne des variances de tous les pixels. Ceci ramène la
10 pente de variation de chaque pixel à une même valeur de référence.

Cette solution est très intéressante puisqu'elle ne nécessite aucun calibrage à partir d'écrans de référence.

Mais ces calculs sont très lourds puisqu'ils nécessitent de recueillir un grand nombre d'images, de les stocker toutes, de faire des calculs de
15 moyenne pour chaque pixel sur ce grand nombre d'images, ainsi que des calculs de variance sur chaque pixel. En pratique, cela ne peut être effectué que par un calculateur puissant, sur des séries d'images préenregistrées. On ne pourrait pas recueillir et traiter directement l'image dans la caméra de prise de vue. Par conséquent, bien que cette solution soit utilisable en
20 théorie pour le traitement d'images en différé, elle n'est pas du tout applicable pour une prise d'image instantanée.

Dans un certain nombre de capteurs d'image, la dispersion des niveaux de signal pour une luminance moyenne donnée s'avère beaucoup plus forte que la dispersion due à la variation de pente sur toute l'échelle de
25 luminances possibles. Typiquement, si l'amplitude des variations de signal dans la gamme de luminances utiles donne lieu à une dispersion de signal de pixel à pixel de l'ordre de un huitième de cette amplitude, la dispersion de l'amplitude moyenne du signal, de pixel à pixel, peut atteindre huit fois l'amplitude des variations dans la gamme utile. Ceci résulte d'ailleurs du fait
30 que les variations de signal issu du pixel, dans la gamme de luminances qui peuvent être reçues, n'excèdent souvent pas 1 à 2 pourcent du niveau moyen du signal électrique fourni par le pixel. Il est donc particulièrement crucial dans ces capteurs de corriger la dispersion des niveaux de réponse.

Cependant, on s'est aperçu que pour un certain nombre de
35 capteurs d'image qui ont une dispersion de niveaux très importante, la

dispersion des pentes de variations d'un pixel à l'autre est corrélée avec la dispersion des niveaux moyens de signal pour une luminance donnée : en pratique, la pente de variation du signal de sortie en fonction de la luminance est plus forte si le niveau pour une luminance moyenne est plus fort. Ceci
5 résulte de la construction physique de ces capteurs d'image. C'est le cas en particulier pour les capteurs infrarouge de type bolométrique.

On propose selon l'invention de simplifier considérablement le processus de calibration du capteur d'image, en considérant a priori que les courbes de variation du niveau de signal en fonction de la luminance, dans
10 une gamme utile de luminances, peuvent être représentées approximativement par des droites passant par un même point d'origine pour tous les pixels, de sorte que le signal électrique (tension ou courant ou quantité de charges) de sortie d'un pixel P_i peut s'écrire $X_i(L) = K_0 + G_i \cdot (L - L_0)$; L un paramètre lié à l'éclairement reçu, et on désignera ce paramètre par
15 "luminance" dans la suite pour simplifier ; $X_i(L)$ est la valeur de signal fourni par le pixel P_i pour une luminance L ; L_0 est la luminance au point où se croisent toutes les droites, K_0 est la valeur de signal électrique issu de ce pixel pour la luminance L_0 , et G_i est la pente de variation du signal en fonction de la luminance pour le pixel P_i .

20 Dès lors, selon l'invention, on propose un procédé de correction du signal électrique issu de chaque pixel, rapporté à une référence représentée par le point (K_0, L_0) , en le multipliant simplement par un coefficient représentant le rapport entre la pente G_i correspondant à ce pixel et une pente de référence G_0 qui est la même pour tous les pixels. Avec
25 cette simple application d'un coefficient multiplicatif, mais en utilisant un signal référencé par rapport à une origine commune à tous les pixels, on obtient une correction de dispersion très efficace sans être obligé d'utiliser une double correction additive et multiplicative.

La pente de référence peut être une moyenne des pentes observées sur tous les pixels, ou bien une pente arbitraire souhaitée.
30

Plus précisément, le procédé selon l'invention est un procédé de correction de sensibilité pour un capteur d'image matriciel, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- on établit pixel par pixel un signal $X_i(L)$ correspondant à
35 l'éclairement d'un pixel P_i par une luminance L ;

- on définit une référence fixe K_0 pour ce signal, la valeur K_0 étant choisie telle que pour une luminance L_0 donnée les pixels fournissent tous un signal $X_i(L_0)$ identique égal à K_0 ;

- et on établit un signal $X^*_i(L)$ corrigé en appliquant au signal $X_i(L)$ -
5 K_0 ainsi référencé un coefficient correcteur multiplicatif spécifique au pixel considéré et en ajoutant la référence fixe K_0 au résultat de la multiplication, le coefficient correcteur étant déterminé à partir du signal $X_i(L_r)$ fourni par le pixel P_i pour une luminance de référence déterminée L_r qui est la même pour tous les pixels.

10 Le coefficient correcteur multiplicatif est de préférence égal à $[X_0(L_r) - K_0] / [X_i(L_r) - K_0]$, où $X_0(L_r)$ est une valeur désirée pour le signal corrigé issu d'un pixel lorsqu'il est éclairé par la luminance de référence L_r .

Le signal $X_i(L)$ est de préférence l'intégrale temporelle d'une valeur de courant électrique d'autant plus importante que la luminance est
15 plus grande. La durée d'intégration est renouvelée à chaque cycle d'intégration au fur et à mesure de la prise d'images successives. Le coefficient correcteur multiplicatif spécifique à chaque pixel est alors appliqué sous forme d'une durée d'intégration de ce courant différente d'un pixel à l'autre.

20 Dans un mode de réalisation, chaque pixel du capteur matriciel comporte un élément sensible à la lumière fournissant un courant variable en fonction de l'éclairement, un élément de conversion courant-fréquence produisant des impulsions à une fréquence variable en fonction du courant, et un compteur d'impulsions actionné pendant ladite durée d'intégration, le
25 coefficient correcteur multiplicatif étant le rapport entre cette durée et une durée fixe T_0 .

La durée d'intégration variable spécifique à un pixel peut être définie par une méthode récursive à partir d'un registre spécifique au pixel, le contenu de ce registre étant incrémenté d'une valeur $X^*_i(L) / 2^p$ à chaque
30 cycle d'intégration, p étant un nombre entier au moins égal à 8 et de préférence choisi entre 12 et 14, la valeur corrigée $X^*_i(L)$ pouvant prendre des valeurs positives ou négatives autour d'une valeur nulle correspondant à la moyenne des luminances reçues par les pixels sur une longue période de temps. Cette méthode récursive repose sur le fait que tous les pixels vont
35 recevoir statistiquement une même luminance moyenne s'ils observent des

images variables pendant un temps suffisamment long (typiquement plusieurs minutes, mais cette durée dépend de la plus ou moins grande variété d'images vues par le capteur). Elle repose aussi sur le fait qu'en modifiant légèrement en positif ou en négatif le contenu du registre en
5 fonction de la luminance reçue, ce contenu va progressivement se stabiliser (avec une constante de temps d'autant plus grande que p est grand) autour d'une valeur telle que la moyenne des signaux corrigés sera nulle pour ce pixel comme pour les autres.

Le registre d'un pixel P_i contient de préférence une valeur dT_i
10 servant à initialiser un compteur qui détermine une durée d'intégration par comptage à une fréquence fixe jusqu'à un contenu déterminé. La durée d'intégration est alors égale à une durée fixe (T_0) diminuée du contenu (dT_i) du registre.

D'une manière générale, le coefficient correcteur multiplicatif peut
15 aussi être établi par calcul, quel que soit la constitution du pixel, dans une phase de calibrage pendant laquelle la matrice est éclairée par une source de lumière de luminance L_r uniforme pour tous les pixels. On mesure le signal $X_i(L_r)$ pour tous les pixels, et on calcule le coefficient multiplicatif qui convient pour ramener les courbes de réponse de tous les pixels à une
20 même courbe de référence. Le calcul est de préférence fait en dehors de la matrice de pixels, et est transmis par un bus aux pixels (par exemple un bus qui vient remplir un registre de modulation de la durée d'intégration spécifique à chaque pixel).

L'invention s'applique aux capteurs d'image infrarouge de type
25 bolométrique, mais aussi plus généralement à tout capteur d'image matricielle dont le principe de fonctionnement implique que tous les pixels ont des formes de courbe de réponse semblables les unes aux autres et passant par une origine commune à tous les pixels.

30 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit et qui est faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente des courbes de réponse linéaires de pixels différents d'une même matrice de pixels, dans une gamme de luminances
35 utiles autour d'une valeur de luminance moyenne L_m ;

- la figure 2 représente les mêmes courbes, faisant apparaître un point de convergence d'abscisse L_0 et d'ordonnée k_0 de toutes ces courbes de réponse ;

- la figure 3 représente les mêmes courbes, ramenées à un axe d'ordonnée correspondant à la valeur de signal obtenue pour une luminance moyenne L_m et un pixel de référence P_0 ;

- la figure 4 représente des courbes de réponse similaires aux précédentes mais non-linéaires ;

- la figure 5 représente une structure de circuiterie numérique associée à un pixel, permettant d'établir un signal corrigé par un coefficient multiplicatif ;

- la figure 6 représente un circuit permettant d'établir récursivement le signal corrigé par incrémentation ou décrémentation progressive du contenu d'un registre en fonction du signal issu du pixel.

15

La figure 1 est un diagramme représentant schématiquement la dispersion des réponses individuelles des pixels d'un capteur matriciel exposés à une luminance variable L dans une gamme de luminances utiles compte-tenu de l'application envisagée. Comme indiqué précédemment, le paramètre L est désigné par le mot "luminance" mais il peut être différent de la luminance. Il représente en tous cas l'exposition plus ou moins importante d'un pixel à une lumière plus ou moins intense.

Les réponses de trois pixels sont représentées : un pixel P_i , un pixel P_j et un pixel P_0 . Le pixel P_i est le plus sensible des trois, en ce sens qu'il fournit un signal électrique $x_i(L)$ qui est plus fort que les autres pour une luminance donnée : pour une luminance de référence L_r (qui pourrait d'ailleurs être une luminance moyenne L_m sensiblement au milieu de la gamme utile), il fournit un signal d'amplitude $x_i(L_r)$ plus élevé que les signaux fournis par les autres pour la même luminance de référence ; le pixel P_j est le moins sensible des trois et fournit un signal $x_j(L_r)$ inférieur à $x_i(L_r)$ pour la même luminance L_r ; le pixel P_0 a une sensibilité intermédiaire, ni trop forte ni trop faible, qu'on peut prendre comme référence pour évaluer la sensibilité des autres pixels ; il fournit un signal $x_0(L_r)$ lorsqu'il est exposé à la luminance L_r .

30

Dans le cas de la figure 1, les réponses des différents pixels peuvent être considérées comme sensiblement linéaires autour de leur valeur moyenne ; on verra plus loin ce qui se passe si elles ne sont pas linéaires. Les pentes de ces réponses sont cependant différentes d'un pixel à l'autre, et c'est ce qui justifiait dans l'art antérieur d'établir une double correction pour ramener tous les pixels à une même courbe de réponse :
 5 correction d'abord additive pour abaisser d'une valeur $x_i(L_r) - x_0(L_r)$ le niveau du signal issu du pixel le plus sensible P_i et pour remonter d'une valeur $x_0(L_r) - x_j(L_r)$ le niveau du signal issu du pixel le moins sensible P_j ; puis correction
 10 multiplicative pour donner au pixel P_i une pente de réponse plus faible lors des variations de luminance, et au pixel P_j une pente plus forte ; les pentes sont ramenées à une valeur de référence qui peut être la pente du pixel de sensibilité moyenne P_0 ou plus généralement une pente de référence désirée.

15 Si le capteur est un capteur bolométrique, on peut remarquer qu'il y a une corrélation entre la différence des niveaux de réponse pour la luminance de référence, $x_i(L_r)$, $x_j(L_r)$, $x_0(L_r)$, et les pentes de réponse différentes d'un pixel à l'autre : le pixel P_i considéré comme plus sensible parce qu'il fournit un signal $x_i(L_r)$ plus fort pour la luminance de référence L_r a
 20 aussi la pente de courbe de réponse la plus forte ; le pixel P_j , moins sensible, a la pente de courbe de réponse la plus faible.

Pour les capteurs infrarouges bolométriques mais aussi pour d'autres types de capteurs, tout se passe comme si les réponses des pixels individuels de la matrice étaient toutes des droites passant par une même
 25 origine O.

La figure 2 représente les mêmes courbes de réponse, faisant apparaître ce point d'origine commun O. Cette origine commune s'explique le plus souvent par la construction même des pixels : on peut concevoir par exemple que les pixels ne fournissent véritablement aucun signal utile
 30 lorsqu'ils sont dans le noir complet, ou même qu'ils fournissent un courant de fuite rigoureusement identique pour tous lorsqu'ils sont dans le noir, etc.

En raison de cette origine commune des courbes de réponse, on comprend qu'on peut modifier la réponse d'un pixel P_i ou P_j et la ramener à la réponse du pixel de référence P_0 en multipliant simplement par un facteur
 35 correctif multiplicatif FC_i ou FC_j le signal issu du pixel P_i ou P_j , pourvu qu'on

prenne le point O (abscisse L_0 , ordonnée k_0) comme origine des valeurs de signaux issus des pixels. Ainsi, le signal $x_i(L)$ fourni par le pixel P_i pour une luminance L sera corrigé en multipliant $x_i(L) - k_0$ par un facteur de correction $FC_i = G_0/G_i$, où G_0 représente la pente de la réponse du pixel de référence et G_i la pente de la réponse du pixel considéré ; de cette correction

5 multiplicative on tirera un signal corrigé $x^*_i(L)$ tel que $x^*_i(L) - k_0 = [x_i(L) - k_0].G_0/G_i$, ou $x^*_i(L) = [x_i(L) - k_0].G_0/G_i + k_0$

En pratique, on peut considérer, aussi bien en traitement analogique qu'en traitement numérique, que le signal issu des pixels est

10 centré par rapport au signal issu du pixel de référence pour une luminance moyenne L_m . Autrement dit : chaque pixel peut fournir un signal électrique analogique ou numérique soit en positif soit en négatif autour d'une valeur zéro qui est la réponse d'un pixel de référence à la luminance moyenne (L_m). On peut donc changer de coordonnées de représentation de la réponse et

15 considérer un axe d'ordonnée des réponses dont le zéro est cette réponse.

Par conséquent, dans ce qui suit on considérera non pas les signaux $x_i(L)$, lesquels sont référencés par rapport à des origines d'abscisse et d'ordonnée L_0 et k_0 , mais des signaux décalés $X_i(L)$ qui sont référencés par rapport au point d'abscisse L_m et d'ordonnée $x_0(L_m)$.

20
$$X_i(L) = x_i(L) - x_0(L_m).$$

De même, on définira une nouvelle valeur d'origine K_0 du point O par rapport à cette nouvelle référence :

$$K_0 = k_0 - x_0(L_m)$$

La figure 3 représente les signaux ainsi référencés par rapport à la

25 réponse d'un pixel de référence P_0 à une luminance moyenne L_m .

De ces signaux décalés, on tirera des signaux corrigés $X^*_i(L)$ qui sont aussi référencés par rapport au point d'abscisse L_m et d'ordonnée $x(L) = x_0(L_m)$, ou $X(L) = 0$.

La correction à appliquer aux signaux $X_i(L)$ reste alors la même

30 que précédemment, en utilisant la valeur K_0 au lieu de k_0 :

$$X^*_i(L) - K_0 = [X_i(L) - K_0].FC_i,$$

avec un facteur de correction $FC_i = G_0/G_i$

La figure 3 représente les variations de signaux $X(L)$ par rapport à ces nouvelles références.

Le rapport des pentes G_0/G_i est mesurable à partir de la
5 connaissance de la réponse de chaque pixel (et du pixel de référence) pour la luminance de référence L_r .

En effet, la réponse du pixel P_i à la luminance L_r est $X_i(L_r)$ telle que $X_i(L_r) - K_0 = G_i.(L_r - L_0)$; la réponse du pixel de référence P_0 à cette même luminance est $X_0(L_r)$ telle que $X_0(L_r) - K_0 = G_0.(L_r - L_0)$.

10 Le facteur de correction $FC_i = G_0/G_i$ est donc égal à $[X_0(L_r) - K_0] / [X_i(L_r) - K_0]$.

La détermination de ce rapport de gains suppose par conséquent la mesure de $X_i(L_r)$ et la connaissance de K_0 , et le facteur de correction est $G_0/G_i = [X_0(L_r) - K_0] / [X_i(L_r) - K_0]$.

15 K_0 peut être connu du fait de la construction physique des pixels du capteur et des traitements de signaux qui interviennent entre le pixel proprement dit et le signal électrique de sortie $X(L)$ considéré, que ce soit en analogique ou en numérique.

Si K_0 est inconnu, on peut également l'estimer, et éventuellement
20 l'ajuster par approximations successives (ceci peut se faire par observation d'images prises par le capteur).

Le pixel de référence P_0 n'est pas un pixel physiquement présent sur le capteur : ce qui compte c'est la valeur $X_0(L_r)$ et on peut choisir une valeur $X_0(L_r)$ désirée qui est celle par rapport à laquelle on souhaite
25 référencer tous les pixels de la matrice. Cette valeur $X_0(L_r)$ peut être obtenue aussi par mesure en calculant la moyenne des réponses de tous les pixels de la matrice éclairée par la luminance uniforme L_r et en prenant ensuite cette valeur comme zéro de référence de $X(L)$. On verra que dans certains cas il n'est même pas nécessaire de calculer cette référence.

30 Ainsi, connaissant K_0 et le facteur de correction FC_i déterminé pour chaque pixel, on peut remplacer systématiquement le signal électrique mesuré $X_i(L)$ issu d'un pixel P_i par un signal corrigé $X^*_i(L) = K_0 + FC_i.[X_i(L) - K_0]$ où FC_i est

$$FC_i = [X_0(L_r) - K_0] / [X_i(L_r) - K_0]$$

Il n'y a qu'une correction multiplicative en ce sens que les additions de K_0 sont des additions d'une quantité fixe qui ne varie pas de pixel à pixel. Seul le terme correcteur multiplicatif varie de pixel à pixel.

Le procédé selon l'invention comporte donc deux étapes
5 principales :

- recherche des facteurs de correction FC_i individuels des pixels, selon la formule ci-dessus, le terme K_0 étant estimé ou connu,
- multiplication des signaux de mesure individuels des pixels, référencés par rapport à la valeur K_0 , par le facteur de correction FC_i relatif à
10 chaque pixel.

Dans le contexte habituel de la correction classique (additive et multiplicative) il faudrait utiliser un calculateur extérieur au capteur et même à la caméra de prise de vue. Il est possible de le faire ici aussi, mais on peut
15 avantageusement utiliser un calcul interne au capteur ou à la caméra, en raison du fait que la correction multiplicative simple est plus facile à mettre en œuvre qu'une correction double.

Si la multiplication est intégrée dans le capteur il peut être particulièrement avantageux de prévoir un circuit de calcul élémentaire associé à chaque pixel (intégré au pixel ou réalisé dans une matrice de
20 correction associée à la matrice de pixels), ou bien de prévoir d'autres moyens réalisant au niveau de chaque pixel une opération équivalente à une multiplication par le facteur FC_i . Une opération équivalente à cette multiplication peut se faire même en analogique, par exemple en ajustant
25 une tension ou un courant de polarisation dont la valeur agit sur la sensibilité du pixel. Le courant ou la tension est alors ajusté individuellement pour chaque pixel de manière à faire la correction désirée.

On notera qu'on a fait ci-dessus l'hypothèse simplificatrice que le signal de sortie du pixel varie linéairement avec la luminance. L'invention peut toutefois être mise en œuvre même si des non-linéarités existent,
30 pourvu qu'on puisse encore considérer que les courbes de réponse non-linéaires des différents pixels passent par un point d'origine commune O et qu'on puisse passer d'une courbe à une autre par une simple multiplication du signal (référéncé par rapport au point O) par un facteur multiplicatif dans la gamme de luminances considérées ; cela signifie que la non-linéarité est
35 la même pour tous les pixels par construction, ce qui est normal puisque tous

les pixels sont a priori réalisés de la même manière, seules les dispersions technologiques leur donnant des réponses différentes représentées par un facteur multiplicatif spécifique à chaque pixel. La figure 4 illustre des courbes de réponse non linéaires répondant à cette condition. On comprend qu'on
5 peut alors raisonner comme pour les figures précédentes par une simple opération de multiplication du signal issu du pixel avec le même coefficient multiplicatif que celui qui a été donné plus haut.

Dans le cas où la mise en œuvre de la correction multiplicative selon l'invention est faite en amont de la transmission du signal électrique du
10 pixel à la sortie de la matrice (c'est-à-dire que la correction est intégrée à chaque pixel), on peut procéder de la manière suivante : on règle individuellement le temps d'exposition de chaque pixel à une durée qui varie d'un pixel à l'autre. Les pixels moins sensibles auront un temps d'exposition plus long (dans la limite du temps de pose usuel de 20 millisecondes pour un
15 imageur classique), les pixels plus sensibles auront un temps d'exposition plus court. Un compteur individuel comptant des impulsions à une fréquence fixe peut être prévu à cet effet dans chaque pixel pour définir le temps de pose : le compteur sera associé à un registre d'initialisation qui lui impose un contenu prédéterminé au démarrage, le compteur comptant ensuite jusqu'au
20 maximum de sa capacité, d'où il résulte que le temps de comptage pour un cycle d'intégration de charges donné varie d'un pixel à l'autre selon le contenu du registre d'initialisation ; la variation d'un pixel à l'autre représente la réduction de temps d'intégration nécessaire pour compenser les différences entre les sensibilités des pixels individuels. Le contenu du
25 registre sera établi pixel par pixel en fonction du facteur multiplicatif déterminé qu'il faut appliquer à ce pixel pour le ramener au comportement d'un pixel de référence. Si le temps d'exposition maximum est T_0 et le contenu du registre est dT_i , le coefficient multiplicatif est en quelque sorte $(T_0 - dT_i)/T_0$. Le pixel de référence dans ce cas est le pixel de sensibilité la
30 plus faible, celui-ci ayant un temps d'exposition maximal T_0 et un contenu de registre dT_i nul.

La figure 5 représente un exemple d'une telle architecture de circuit de correction multiplicative associé à un pixel P_i de la matrice de prise
35 d'image. Seule la partie numérique du pixel est représentée, la partie analogique ne l'est pas. On considère à titre d'exemple que le pixel

comprend un détecteur bolométrique, non représenté, qui fournit un courant qui dépend de l'éclairement du pixel, et ce courant est converti en une fréquence F_i par un convertisseur courant-fréquence non représenté. Ainsi, pour une luminance L reçue par le pixel P_i , des impulsions à fréquence $F_i(L)$ sont émises.

Ces impulsions sont transmises à un premier compteur numérique CPT1 qui compte d'autant plus vite que la fréquence $F_i(L)$ est plus élevée. Un deuxième compteur CPT2 reçoit des impulsions de comptage à fréquence fixe f_0 pour constituer une base de temps définissant le temps d'intégration de lumière à chaque cycle.

Les deux compteurs sont initialisés avant le début d'un cycle d'intégration, par un front d'un signal INIT : le premier compteur CPT1 est initialisé à zéro, mais le deuxième est initialisé à une valeur dT contenue dans un registre d'initialisation REG1. Les compteurs commencent à compter simultanément à partir d'une impulsion START de démarrage de cycle d'intégration. Le premier compteur compte à la fréquence $F_i(L)$; le deuxième compte à la fréquence f_0 .

Un deuxième registre REG2 reçoit le contenu du premier compteur et l'enregistre lorsqu'il reçoit une impulsion de fin de comptage STOP issue du deuxième compteur CPT2 lorsque celui-ci revient à zéro après avoir compté jusqu'à sa capacité maximale. Le contenu enregistré dans le registre REG2 au cours de ce cycle est d'autant plus grand que le premier compteur CPT1 a compté plus vite. Il dépend par conséquent de la fréquence de comptage $F_i(L)$, c'est-à-dire de la lumière reçue par le pixel.

Le contenu du registre REG2 est transmis, en fin de cycle d'intégration, à un bus de sortie BS, à travers un multiplexeur MUX commandé par un signal d'adressage. Le contenu est transmis lorsque l'adresse ADR_i du pixel P_i arrive par le bus d'adressage.

Le contenu dT_i du registre REG1 permet de définir comme on l'a dit ci-dessus un paramètre variable en fonction de la sensibilité du pixel ; ce paramètre est plus précisément un temps d'exposition variable, servant à modifier le coefficient multiplicatif qu'il faut appliquer à un pixel pour ramener la sensibilité de ce pixel à une sensibilité égale à celle d'un pixel de référence. La valeur de dT_i peut être nulle pour un pixel ayant la sensibilité la plus faible possible, le temps de pose est alors T_0 , qui est le temps

nécessaire pour que le compteur CPT2 compte de zéro jusqu'à sa capacité maximale à une fréquence de comptage f_0 . Si dT_i n'est pas nul, le temps d'exposition est défini par $T_0 - dT_i$, et le coefficient multiplicatif est $(T_0 - dT_i)/T_0$

Le contenu dT_i du registre REG1 est déterminé pixel par pixel par un 5
calculateur qui reçoit les signaux issus de tous les pixels lors d'une opération de calibrage ; il est transmis au registre REG1 par le bus BS. L'opération de calibrage comprend l'illumination de tous les pixels par un écran de luminance uniforme L_r . Le calibrage peut être effectué soit une seule fois, soit plusieurs fois, par exemple à chaque démarrage de 10
l'alimentation du capteur, ou éventuellement périodiquement. C'est pourquoi un signal CAL de calibrage peut être prévu pour autoriser la transmission d'une valeur dT_i depuis le bus BS vers le registre REG1. Un signal complémentaire NCAL peut servir à valider la transmission vers le bus de 15
sortie BS d'une valeur de signal de luminance en dehors des opérations de calibrage. Cette valeur de luminance est une valeur qui est intrinsèquement corrigée par le facteur multiplicatif $(T_0 - dT_i)/T_0$. C'est donc la valeur corrigée $X^*_i(L)$ mentionnée précédemment.

Dans cet exemple, on a supposé que la fréquence F_i établie à partir de l'éclairement d'un pixel est référencée par rapport à la valeur de K_0 20
expliquée précédemment, c'est-à-dire une valeur commune à tous les pixels, par exemple nulle pour une luminance L_0 nulle.

On comprend donc que dans cet exemple, le signal produit par un pixel est fondamentalement l'intégrale d'un courant pendant un temps T_0 et que le facteur de correction multiplicatif est obtenu par une modulation de la 25
valeur de ce temps d'intégration.

Pour déterminer la valeur dT_i pour chaque pixel pendant une phase de calibration, on peut mesurer le signal issu du pixel pendant un temps d'intégration T_0 fixe pour tous les pixels, lorsque toute la matrice est éclairée par une luminance uniforme L_r , et calculer en fonction des réponses 30
des pixels quel est le facteur correctif qu'il faut appliquer à chaque pixel. Ce facteur correctif peut être déterminé par exemple par rapport à la moyenne des signaux obtenus par l'ensemble des pixels éclairés par la luminance L_r , cette moyenne représentant l'équivalent d'un pixel de référence éclairé par la luminance L_r . De ce facteur correctif individuel, on tire dT_i pour chaque pixel, 35
et on stocke dT_i dans le registre REG1 de ce pixel.

Cependant, il est possible aussi de considérer que la valeur de luminance de référence est la valeur moyenne reçue statistiquement par tous les pixels au bout d'un grand nombre d'images. On peut alors observer la valeur moyenne du signal issu de chaque pixel au bout d'un grand nombre de cycles d'intégration, et on en déduit le facteur de correction multiplicatif qu'il faut appliquer connaissant K_0 .

Dans le cas où le facteur de correction multiplicatif est déterminé par un temps d'exposition T_0-dT_i variable de pixel à pixel, on peut également déterminer dT_i par une méthode récursive progressive, n'utilisant pas de mesure à l'aide d'un écran de luminance de référence.

Par "méthode numérique récursive", on entend une méthode de calcul d'une fonction $F_N(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dots, x_N)$ de N variables x_n de rang n variant de 1 à N , dans laquelle on part d'une valeur F_n trouvée pour cette fonction en utilisant les n premières variables et on calcule la valeur F_{n+1} pour $n+1$ variables par une fonction de F_n et de la variable ajoutée x_{n+1} :

$$F_{n+1} = R(F_n, x_{n+1}).$$

Une telle méthode aboutit progressivement au calcul de F_N et n'est pas limitée par la valeur de N puisqu'elle peut continuer au fur et à mesure que N augmente. Ici, la fonction F_n est le contenu du registre d'initialisation REG1 au $n^{\text{ième}}$ cycle d'intégration. La variable x_n est la valeur de signal fourni au $n^{\text{ième}}$ cycle.

En pratique on procède de la manière suivante : à chaque image, on modifie le contenu actuel dT du registre pour lui rajouter une très petite fraction $X_i(L)/2^p$ du signal de sortie du pixel (le signal $X^*_i(L)$ est le signal après correction multiplicative, c'est donc le signal présent dans le registre REG2 dans l'architecture de la figure 5). Le signal $X_i(L)$ peut être positif (luminance supérieure à la moyenne pour un pixel de référence) ou négatif (luminance inférieure à la moyenne). On augmente donc un peu dT si le signal est positif et on le diminue un peu si le signal est négatif.

Très progressivement, avec une constante de temps d'autant plus grande que 2^p est un grand nombre, le contenu du registre REG1 se stabilisera à une valeur qui est différente pour chaque pixel mais qui est telle que tous les pixels fourniront un signal dont la moyenne est nulle sur une longue période.

Ce principe d'élaboration progressive du contenu du registre REG1 peut être mis en œuvre à l'aide d'une architecture telle que celle de la figure 6. Dans cette architecture il n'y a pas de phase de calibrage car le calibrage se fait automatiquement et progressivement au fur et à mesure que
5 les pixels reçoivent statistiquement des éclairagements très variables mais centrés autour d'une luminance moyenne identique pour tous.

Par rapport à la figure 5, le circuit de calcul de la figure 6 comporte en outre un additionneur ADD1 pour additionner après chaque cycle une valeur $X^*_i(L)/2^p$ au contenu actuel du registre. Un signal ACT définit l'instant
10 de cette addition à la fin d'un cycle ou au début du cycle suivant. L'obtention d'une valeur $X^*_i(L)/2^p$ se fait en décalant à droite de p rangs les bits de la valeur numérique $X^*_i(L)$.

Dans ce qui précède on a considéré un exemple de correction multiplicative dans le cas d'un pixel dont le signal est issu d'un comptage
15 d'impulsions à une fréquence d'autant plus élevée que l'éclairage est plus important.

On comprendra que l'invention est applicable également à d'autres cas et on a mentionné ci-dessus la possibilité de le faire en analogique avec une tension ou un courant de polarisation contrôlé
20 individuellement pour chaque pixel dans une architecture où la sensibilité du pixel est proportionnelle à ce courant ou cette tension de polarisation, ce qui est en général le cas dans des structures de détecteurs de type bolométriques.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de correction de sensibilité pour un capteur d'image matriciel, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- on établit pixel par pixel un signal $X_i(L)$ correspondant à l'éclairement d'un pixel P_i par une luminance L ;

5 - on définit une référence fixe K_0 pour ce signal, la valeur K_0 étant choisie telle que pour une luminance L_0 donnée les pixels fournissent tous un signal $X_i(L_0)$ identique égal à K_0 ;

- et on établit un signal $X^*_i(L)$ corrigé en appliquant au signal $X_i(L) - K_0$ ainsi référencé un coefficient correcteur multiplicatif spécifique au pixel considéré et en ajoutant K_0 au résultat de la multiplication, le coefficient correcteur étant déterminé à partir du signal $X_i(L_r)$ fourni par le pixel P_i pour une luminance de référence déterminée L_r qui est la même pour tous les pixels.

15 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le coefficient correcteur multiplicatif est égal à $[X_0(L_r) - K_0] / [X_i(L_r) - K_0]$, où $X_0(L_r)$ est une valeur désirée pour le signal corrigé issu d'un pixel lorsqu'il est éclairé par la luminance de référence L_r .

20 3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le signal $X_i(L)$ est l'intégrale temporelle d'une valeur de courant électrique d'autant plus importante que la luminance est plus grande.

25 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le coefficient correcteur multiplicatif spécifique à chaque pixel est appliqué sous forme d'une durée d'intégration du courant électrique différente d'un pixel à l'autre.

30 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le coefficient correcteur multiplicatif est calculé pour chaque pixel pendant une phase de calibrage au cours de laquelle les pixels sont illuminés par une source de lumière uniforme de luminance L_r .

6. Capteur matriciel utilisant une correction de sensibilité selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que chaque pixel comporte
5 un élément sensible à la lumière fournissant un courant variable en fonction de l'éclairement, un élément de conversion courant-fréquence produisant des impulsions à une fréquence variable en fonction du courant, et un compteur d'impulsions actionné pendant ladite durée d'intégration, le coefficient correcteur multiplicatif étant le rapport entre cette durée d'intégration et une
10 durée fixe T_0 .

7. Capteur matriciel selon la revendication 6, caractérisé en ce que la durée d'intégration variable spécifique à un pixel est définie à partir d'un registre spécifique au pixel, le contenu de ce registre étant incrémenté
15 d'une valeur $X^*_i(L) / 2^p$ à chaque cycle d'intégration, p étant un nombre entier au moins égal à 8 et de préférence choisi entre 12 et 14, la valeur corrigée $X^*_i(L)$ pouvant prendre des valeurs positives ou négatives autour d'une valeur nulle correspondant à la moyenne des luminances reçues par les pixels sur une longue période de temps.

20

8. Capteur matriciel selon l'une des revendications 6 et 7, pour de l'imagerie infrarouge de type bolométrique.

25

1/4

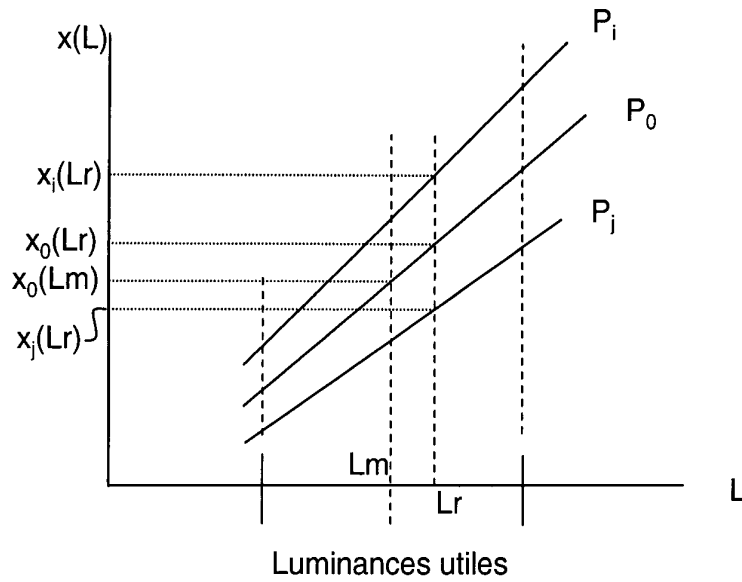


Fig. 1

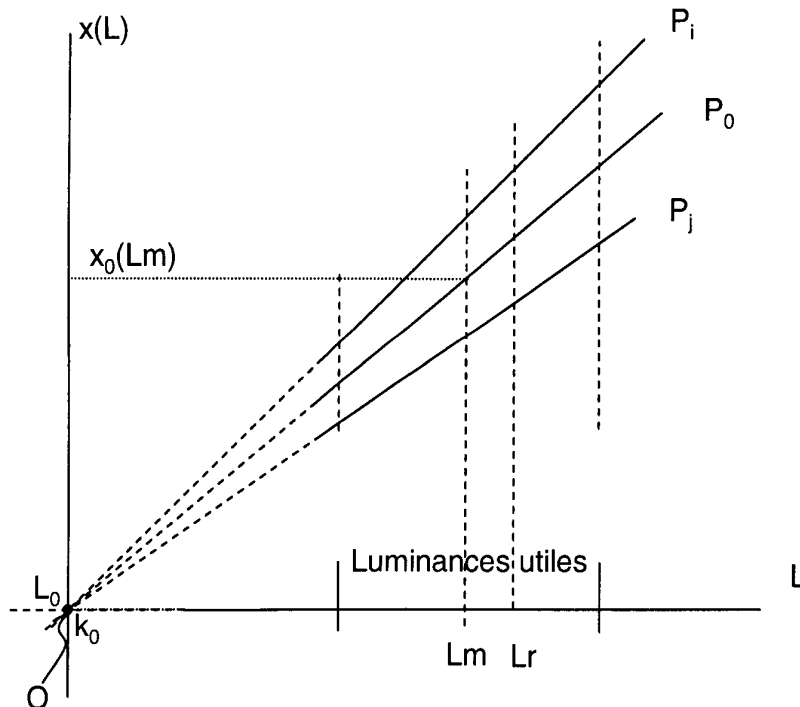


Fig. 2

2/4

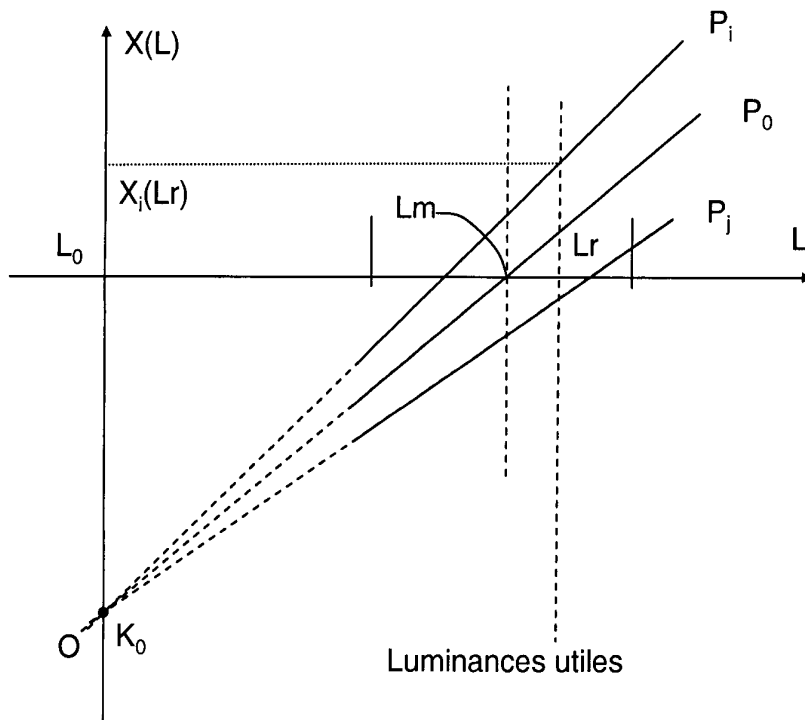


Fig. 3

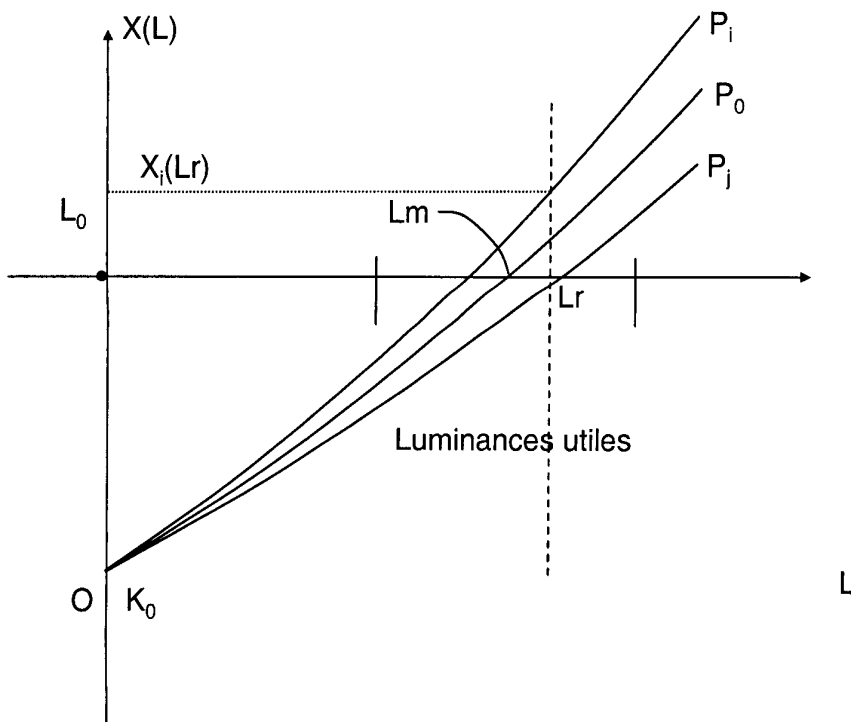


Fig. 4

3/4

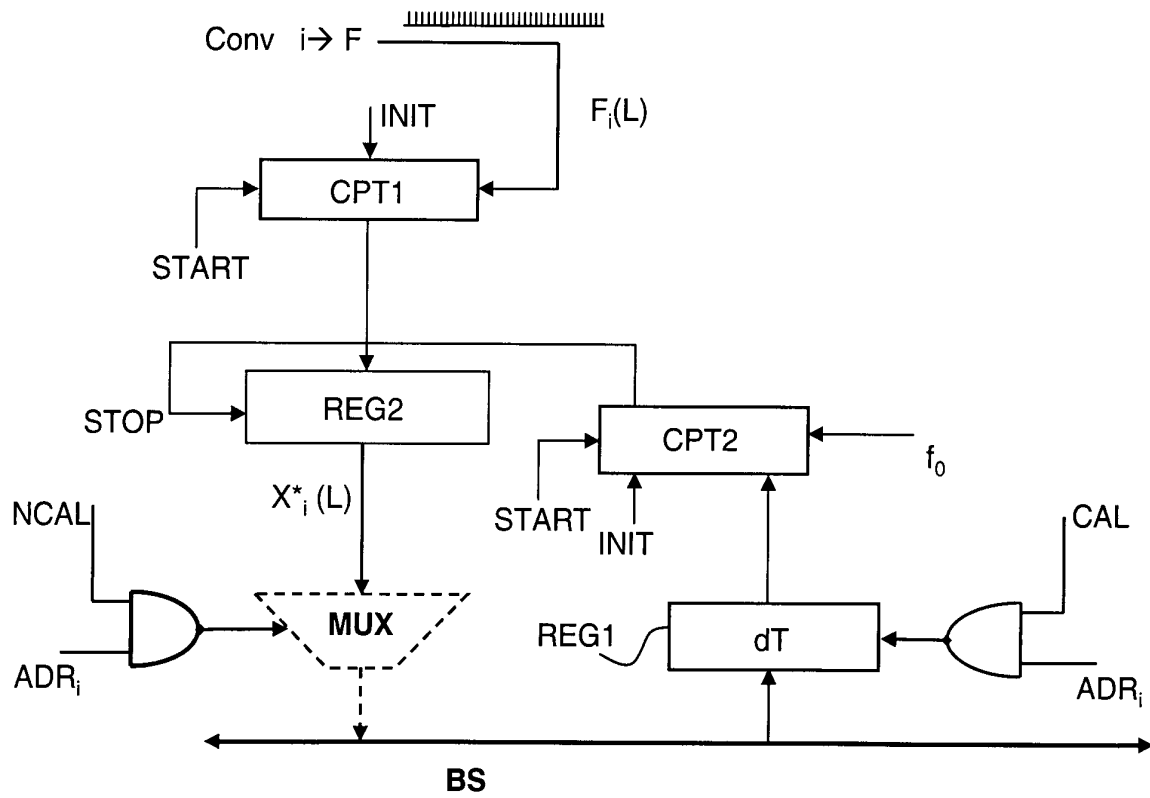


Fig. 5

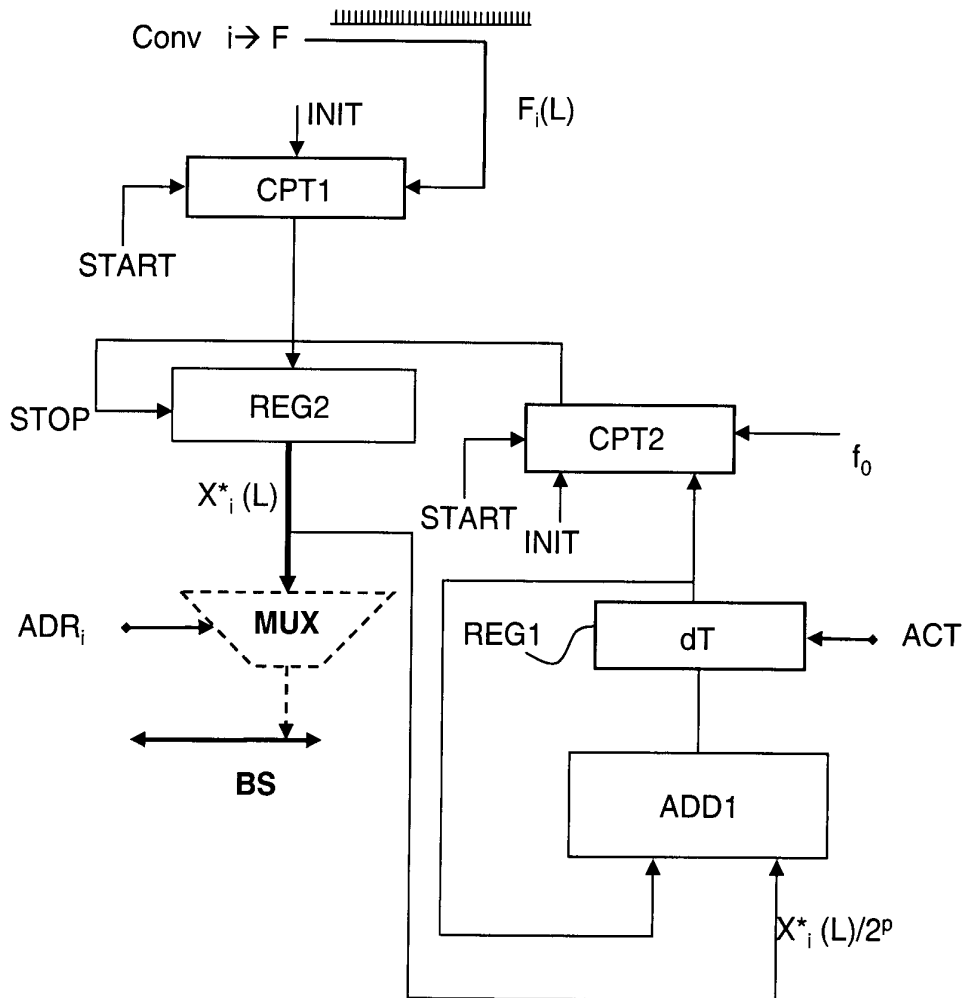


Fig. 6



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 699866
FR 0705824

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 5 047 861 A (HOUCHIN JAMES S [US] ET AL) 10 septembre 1991 (1991-09-10) * colonne 4, ligne 5 - colonne 5, ligne 2; figures 4,5 *	1	H01L27/146 H04N5/33 G01J5/20
A	EP 1 601 185 A (NIPPON KOGAKU KK [JP]) 30 novembre 2005 (2005-11-30) * alinéas [0088] - [0099] *	1	
A	GB 2 296 147 A (MARCONI GEC LTD [GB]) 19 juin 1996 (1996-06-19) * page 1, ligne 6 - ligne 15 *	1	
A	US 5 756 999 A (PARRISH WILLIAM J [US] ET AL) 26 mai 1998 (1998-05-26) * colonne 6, ligne 29 - colonne 7, ligne 13; figures 15,16 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H04N
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		3 avril 2008	Montanari, Marco
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0705824 FA 699866**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 03-04-2008

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5047861 A	10-09-1991	CA 2064721 A1	01-02-1992
		DE 69125472 D1	07-05-1997
		DE 69125472 T2	06-11-1997
		EP 0495045 A1	22-07-1992
		JP 5501793 T	02-04-1993
		WO 9203009 A1	20-02-1992
-----	-----	-----	-----
EP 1601185 A	30-11-2005	US 2005259166 A1	24-11-2005
-----	-----	-----	-----
GB 2296147 A	19-06-1996	AU 692325 B2	04-06-1998
		AU 3931895 A	19-06-1996
		CA 2205851 A1	06-06-1996
		DE 69507899 D1	25-03-1999
		DE 69507899 T2	12-08-1999
		EP 0795249 A1	17-09-1997
		ES 2128099 T3	01-05-1999
		WO 9617471 A1	06-06-1996
		JP 10510112 T	29-09-1998
		US 6108611 A	22-08-2000
-----	-----	-----	-----
US 5756999 A	26-05-1998	US 6028309 A	22-02-2000
-----	-----	-----	-----