

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



PCT

(43) Date de la publication internationale  
15 janvier 2009 (15.01.2009)

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2009/007543 A2

(51) Classification internationale des brevets :  
*H04N 9/04* (2006.01)      *H04N 5/238* (2006.01)  
*H04N 5/30* (2006.01)      *G06T 5/00* (2006.01)  
*H04N 1/00* (2006.01)

(71) Déposants (*pour tous les États désignés sauf US*) :  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE-CNRS [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR). UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER [FR/FR]; BP 53, F-38041 Grenoble Cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2008/000806

(72) Inventeurs; et

(22) Date de dépôt international : 12 juin 2008 (12.06.2008)

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : ALLEYSSON, David [FR/FR]; 11, rue du Hameau aux Fenêtres, F-38430 Moirans (FR). CHAIX DE LAVARENNE, Brice [FR/FR]; 97, rue Longue du Puits, F-84210 Beaumont de Pertuis (FR). HERAUT, Jeanny [FR/FR]; 4, rue Adolphe Muguet, F-38120 Saint Egreve (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
07/04181      12 juin 2007 (12.06.2007) FR

*[Suite sur la page suivante]*

(54) Title: DIGITAL IMAGE SENSOR, IMAGE CAPTURE AND RECONSTRUCTION METHOD AND SYSTEM FOR IMPLEMENTING SAME

(54) Titre : CAPTEUR D'IMAGES NUMÉRIQUES, PROCEDE D'ACQUISITION ET DE RECONSTRUCTION D'IMAGES, ET SYSTEME DE MISE EN ŒUVRE

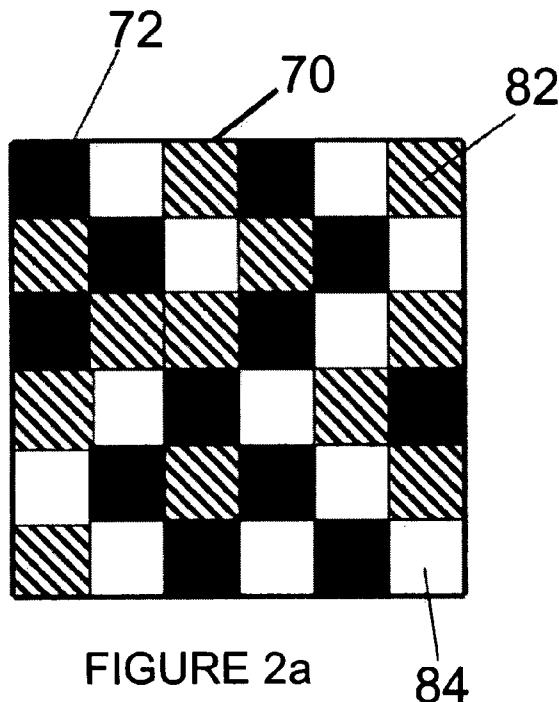


FIGURE 2a

(57) Abstract: The invention aims to solve the problem of eliminating the trade-off between the complexity of the digital image capture device and captured image reconstruction and the quality of the image. For this purpose, the invention provides a digital image capture sensor (18) including an array (16) of colour filters, which array comprises a plurality of identical basic patterns (70) which are replicated with no overlap, each basic pattern being formed by colour filters (72, 82, 84) which are pseudo-randomly arranged, such that each basic pattern (70) contains a variable pitch between two consecutive same-type colour filters in the horizontal and/or vertical directions of the basic pattern.

(57) Abrégé : Le problème à résoudre est de dépasser le compromis entre la complexité d'un appareil d'acquisition d'images numériques en liaison avec reconstruction de l'image captée et la qualité de cette image. Pour le résoudre, la présente invention propose un capteur d'acquisition d'images numériques (18) comprenant une matrice

*[Suite sur la page suivante]*

WO 2009/007543 A2



- (74) **Mandataire :** BREDEMA; 38 avenue de l'Opéra, F-75002 Paris (FR).
- (81) **États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) :** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) :** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

**CAPTEUR D'IMAGES NUMERIQUES, PROCEDE D'ACQUISITION ET  
DE RECONSTRUCTION D'IMAGES, ET SYSTEME DE MISE EN ŒUVRE**

5 La présente invention concerne un capteur couleur dédié à l'acquisition d'images, un procédé d'acquisition et de reconstruction d'images, ainsi qu'un système de mise en œuvre de ce procédé.

10 La présente invention se situe dans le domaine du traitement numérique d'images et de séquences d'images, lors de leur acquisition par une caméra et leur reconstruction et sauvegarde en format brut ou compressé.

15 L'acquisition d'images couleurs, par exemple à l'aide d'appareils photographiques et de vidéo numérique, inclut des post-traitements après l'acquisition pour l'amélioration de la qualité des images numériques captées, en liaison avale avec des systèmes de compression d'images et de représentation des images couleurs.

20 Or, pour reproduire une image de haute qualité visuelle, la plupart des caméras ou des appareils photographiques numériques actuels utilisent un capteur devant lequel est placée une matrice de filtres couleur.

25 Chaque filtre couleur étant un composant transparent qui laisse passer une partie de la lumière et en absorbe une autre, la répartition spectrale de la transparence définit la couleur du filtre.

30 Les images captées sont composées de « pixels », le pixel représentant un composant numérique de l'image, caractérisé par sa position (ligne/colonne) dans l'image et

par sa valeur numérique, correspondant à un niveau de gris ou de couleur.

5 On entend par « taille » de l'image le nombre de lignes multiplié par le nombre de colonnes, c'est-à-dire le nombre de pixels.

10 Les termes « horizontal / vertical » sont en général utilisés respectivement pour déterminer la taille d'une image en hauteur (nombre de lignes) et en largeur (nombre de colonnes).

15 Ladite matrice de filtres couleur donne à chaque pixel du capteur une sensibilité spectrale différente pour permettre la représentation de la couleur. En contrepartie, avec cette méthode, une seule couleur est échantillonnée à chaque pixel. Par conséquent, une étape de démosaïçage (c'est-à-dire d'interpolation des trois composantes de la couleur « RGB, Red, Green, Blue » en langue anglaise, donc 20 rouge, vert et bleu), ou d'estimation de la luminance et d'interpolation des chrominances, sont nécessaires pour reconstruire une image couleur disposant de trois sensibilité spectrales par pixels. Dans la présente description, on entend par « luminance » la composante 25 achromatique de l'image, et par « chrominance » ou « chrominances » ou « trois composantes de la chrominance », la composante chromatique de l'image étant dépourvue de l'information de luminance.

30 Afin de réduire la complexité du traitement, l'art antérieur connaît de nombreuses solutions.

Par exemple, la matrice de filtres couleur la plus répandue actuellement, et disposée dans un capteur est le

5 CFA (« Color Filter Array » en anglais, tableau ou matrice de filtres de couleurs), dite de Bayer. Cette matrice est périodique et est composée d'une alternance régulière, de pixels rouges et verts une ligne sur deux, et une alternance de pixels verts et bleus sur l'autre ligne.

10 Le problème majeur de cette matrice est que l'interpolation génère des artefacts visibles qui nuisent à la qualité visuelle après la reconstruction de l'image. Une des techniques pour réduire la génération d'artéfacts est 15 d'utiliser quatre photosites pour reconstruire un seul pixel. Chaque photosite représente une cellule photoélectrique, ce photosite étant sensible à l'intensité lumineuse dans une gamme de longueur d'onde (rouge, vert ou bleu) qu'il traduit en produisant un petit courant électrique relatif à la sensibilité spatiale. La combinaison des courants de quatre photosites permet la construction des 20 trois couleurs du pixel. Néanmoins, cette technique augmente la complexité du capteur, car le nombre de pixels utiles pour une image numérique est réduit par un facteur quatre en comparaison avec le nombre de photosites.

25 D'autres méthodes connues visant à remplacer ladite méthode de Bayer, par exemple par différence d'absorption des photons, ou de la création de super CDD (« Charged Coupled Device », Dispositif à transfert de charge en langue anglaise) à configuration hexagonale, modifient complètement 30 le post-traitement de l'image acquise par rapport à un filtrage de Bayer. Cela se traduit par l'augmentation de la complexité des procédés et des systèmes d'acquisition et de traitement.

Par ailleurs, des études comparatives des méthodes de reconstruction les plus connues (par exemple, la méthode du

gradient corrigé par le Laplacien, la méthode des coefficients prédéterminés, la méthode de projection alternée, les méthodes de sélection des fréquences, les méthodes de Wiener), effectuée par mesures objectives PSNR (« Pick Signal to Noise Ratio », pic du rapport signal à bruit, en langue anglaise) démontre clairement qu'il existe un compromis entre la qualité de l'image reconstruite et la complexité de la méthode de reconstruction. Une haute qualité de l'image reconstruite exige une haute complexité de l'appareil d'acquisition et/ou de la méthode de reconstruction. La complexité représente la consommation en ressources matérielles et informatiques, telles que par exemple la vitesse de calcul, la taille de la mémoire opérationnelle pour l'exécution du procédé, la taille de la mémoire de sauvegarde des résultats, la consommation en puissance de calcul et en temps de calcul. La complexité d'un système d'acquisition par caméra est aussi liée aux composants matériels, tel que le capteur en terme de performance, de robustesse, de taille, et de coût.

20

Aussi, du point de vue de la perception subjective des images reconstruites, les algorithmes performants en terme de mesure objective, réduisent certes certains artefacts, mais ont tendance à augmenter d'autres défauts visuels.

25

Pour contourner le problème de génération des artefacts, il est connu d'utiliser un arrangement aléatoire ou pseudo aléatoire des filtres de couleurs à la surface du capteur. En effet, il est connu que l'échantillonnage aléatoire n'est pas contraint au phénomène d'alialing ou repliement spectral. Pour une répartition aléatoire ou autrement dit non périodique des filtres de couleur, on limite dès lors le mélange de l'information spatiale et

chromatique dans la représentation de l'image et on réduit en conséquence l'apparition d'artéfacts.

Un capteur comprenant un agencement aléatoire est par exemple connu de la publication de Chaix de Laverne et al. « Traitement non linéaire uniforme pour la reconstruction d'une mosaïque chromatique répartie aléatoirement » ou de la demande de brevet US 2003/0210332.

Cependant, une répartition aléatoire ou non périodique des filtres de couleur sur la matrice rend difficile l'interpolation des couleurs manquantes car le voisinage d'un pixel donné n'est pas connu et varie d'une zone de l'image à l'autre, contrairement au cas d'un motif régulier comme celui de Bayer.

L'invention vise à pallier cet inconvénient de l'état de la technique.

Pour ce faire, l'idée à la base de l'invention est de combiner l'avantage de la répartition aléatoire qui permet de réduire des artéfacts, tout en gardant une certaine régularité dans la matrice formant le capteur pour que l'interpolation des couleurs manquantes ne soit pas trop complexe.

La présente invention vise donc à dépasser le compromis entre la complexité d'un appareil d'acquisition en liaison avec la complexité de la reconstruction d'une image captée et la qualité de cette image, tout en tendant vers

une haute qualité de l'image, correspondant à la perception subjective de l'œil humain.

5 La présente invention part du modèle de répartition aléatoire des couleurs dans l'œil humain pour permettre l'augmentation de la qualité de l'image perçue par la réduction d'artefacts.

10 Ainsi, l'invention propose un arrangement pseudo aléatoire (encore appelé ci-après « non périodique ») des filtres couleur à la surface d'un capteur, l'échantillonnage pseudo aléatoire n'étant pas contraint au phénomène de repliement spectral, réduit par conséquent la cohérence des erreurs générées. La combinaison de cet arrangement pseudo 15 aléatoire avec un procédé de reconstruction de l'image captée, approprié à cet arrangement, optimise le rapport qualité de l'image captée / complexité du procédé de reconstruction et de l'appareil d'acquisition.

20 On entend par « motif pseudo aléatoire », un motif d'un capteur comprenant des filtres couleur disposés avec un arrangement irrégulier, préalablement indéterminé, le qualificatif « pseudo » étant utilisé du fait qu'un caractère purement aléatoire n'est pas atteignable par des 25 traitements informatiques, effectué par les calculateurs numériques, qui sont des appareils déterministes.

30 Plus précisément, la présente invention a pour objet un capteur d'acquisition d'images numériques comprenant une matrice de filtres couleur, la matrice étant constituée d'une pluralité de motifs de base identiques répliqués sans recouvrement, chacun des motifs de base étant constitué de filtres couleur arrangés de façon pseudo aléatoire, de sorte qu'il existe, dans chacun des motifs de base, un pas

variable entre deux filtres couleur consécutifs de même type dans les directions horizontales et/ou verticales du motif de base.

5 De la sorte, l'utilisation de motifs de base pseudo-aléatoire permet une réduction des artéfacts, et la réPLICATION sans recouvrement de ces motifs de base introduit une certaine régularité qui facilite l'interpolation des couleurs.

10

Le document US 2003/0210332 décrit une matrice de filtres couleur formée d'une pluralité de motifs de base. Toutefois, ce document n'enseigne pas le fait que les motifs de base sont répliqués sans recouvrement, chacun des motifs de base 15 étant constitué de filtres couleur arrangés de façon pseudo aléatoire.

20 Selon l'invention, la limitation de la cohérence du mélange de l'information spatiale et chromatique dans la représentation de l'image réduit l'apparition d'artéfacts ayant un impact sur la qualité d'image.

25 L'acquisition des images ainsi faite permet aussi d'utiliser en partie des méthodes de post-traitement connues, par exemple celles développées dans le cas de Bayer, et d'améliorer leurs performances.

Selon des caractéristiques préférées :

30 - le capteur comporte une matrice de filtres couleur, dont le motif de base des filtres couleur est égal ou supérieur à 4x4 pixels d'une image et est inférieur à la taille de cette image ;

- le capteur comporte une matrice de filtres couleur, dont le motif de base des filtres couleur est de la même taille que la taille de l'image ;

5 L'invention concerne également un procédé d'acquisition et de reconstruction de séquences d'images numériques, lesdites images étant filtrées lors de leur acquisition par ledit capteur à l'aide de ladite matrice de filtres couleur, en effectuant ainsi une acquisition des 10 composantes rouge, verte et bleu pour une reconstruction d'au moins une image, à partir desdites composantes acquises de chaque image.

15 Selon des modes de mise en œuvre particuliers de ce procédé :

- une décomposition en luminance et chrominance de l'image acquise est effectuée pour appliquer les filtres de reconstruction, cette décomposition réduisant la complexité 20 des filtres de reconstruction ;

- une décomposition en luminance et en chrominance de l'image acquise est obtenue à l'aide d'un capteur à motif pseudo aléatoire pour la chrominance et d'un capteur dépourvu de matrice de filtres couleur pour la luminance ;

25 - la luminance est estimée et les trois composantes de la chrominance sont interpolées à partir des données acquises par le capteur à motif pseudo aléatoire ;

- la reconstruction de l'image est effectuée à partir de la luminance estimée et des trois composantes interpolées 30 de la chrominance à partir de l'image captée ;

- la reconstruction de l'image est linéaire et fait intervenir uniquement une pondération d'un voisinage de pixel, à partir du motif de base et d'un voisinage ;

- la reconstruction de l'image est adaptative, non linéaire, et effectue une interpolation des chrominances ramenées en bande de base, via un calcul basé sur le gradient des basses fréquences de la luminance estimée par un filtre passe-bas normalisé, ledit gradient de la luminance indiquant le sens vertical ou horizontal d'interpolation des trois chrominances ;
- 5 - le démosaïçage est effectué par élimination des fréquences à risque par transfert des porteuses desdites chrominances en fréquences spatiales nulles.
- 10

Grâce à ce procédé d'acquisition et de reconstruction d'images et ses différentes mises en oeuvre, la qualité des images est améliorée et la complexité de la reconstruction 15 est réduite.

L'estimation des coefficients du filtre linéaire de luminance réalisée à l'aide d'un capteur étant dépourvu de matrice de filtres couleur, avec lequel une image 20 achromatique est captée, représente une alternative au calcul des coefficients par la méthode des moindres carrés de l'erreur quadratique entre un image intermédiaire en mosaïque simulée et une luminance estimée.

25 On entend par base de données d'images une collection d'images en couleur disposant de trois couleurs : rouge, verte et bleue à chaque pixel de l'image. Cette base de données est issue d'un système disposant de trois capteurs pour échantillonner les trois couleurs à chaque position 30 spatiale.

Une mosaïque de la base de données d'images représente la simulation de l'effet de cette mosaïque de couleurs sur la base de données d'images. Pour obtenir une mosaïque de la

base de données d'images, les couleurs des pixels qui ne sont pas présents dans cette mosaïque à la position considérée sont supprimées artificiellement.

5       Pour les mosaïques à répartition irrégulière, le calcul des gradients est adapté selon le voisinage de chaque pixel. La présente invention utilise cette propriété commune de toutes les mosaïques, c'est-à-dire que la luminance est localisée en bande de base, et propose donc  
10      un calcul de gradient sur les composantes basses fréquences de la luminance qui est uniforme sur toute l'image. Ce calcul met à profit les contours calculés par gradients sur les composantes basses fréquences de la luminance pour une meilleure interpolation de la chrominance.

15      L'invention se rapporte également à un système d'acquisition et de reconstruction de séquences d'images numériques pour la mise en œuvre du procédé. Ce système est composé de modules d'acquisition et de traitement numérique connectés entre eux, comprenant au moins un capteur couleur à motif pseudo aléatoire, un module de compression en liaison avec un module de reconstruction, un module de stockage, un module d'affichage et une interface de sortie.

25      Selon des caractéristiques préférées :

      - l'image est reconstruite, dans le module de reconstruction, par un procédé linéaire qui fait intervenir uniquement une pondération d'un voisinage de pixel ;

30      - l'image est reconstruite, dans le module de reconstruction, par un procédé adaptatif qui effectue une interpolation des chrominances ramenées en bande de base, via un calcul basé sur le gradient de la luminance estimée par un filtre passe-bas normalisé, ledit gradient indiquant

pour l'image le sens vertical ou horizontal d'interpolations des chrominances ;

- l'image reconstruite dans le module de reconstruction est compressée par au moins un encodeur dans ce module de compression ;

- l'image reconstruite dans le module de reconstruction est compressée par au moins un encodeur compris dans le module de reconstruction.

10 De part l'optimisation du rapport complexité/qualité, la présente invention propose une solution très bien adaptée à la mise en œuvre sur des supports ayant des contraintes de taille et de capacités de traitement, tels que ceux contenant des applications embarquées, par exemple les 15 téléphones portables, les caméras de surveillance, ou les mini caméras d'acquisition comme les cyber caméras (webcams en langue anglaise).

20 En général, la présente invention vise tout système d'acquisition et de traitement d'images couleurs (par exemple les cameras haute définition, les photophones, les satellites), et est adaptée également pour un prétraitement pour tout format et système de compression d'images ou de 25 séquences vidéos numériques.

La présente invention est une alternative de la méthode la plus répandue actuellement, c'est-à-dire de la méthode dite de Bayer, selon laquelle les contours de l'image sont mis à profit pour une meilleure interpolation de la chrominance, les contours étant calculés par gradient 30 sur les composantes basses fréquences de la luminance.

La présente invention sera mieux comprise ci-après à l'aide d'exemples de réalisation non limitatifs, en

référence aux dessins annexés qui représentent respectivement :

- en figure 1, un exemple de système de mise en œuvre du procédé selon l'invention à caméra numérique munie d'un capteur couleur à motif pseudo aléatoire ;

- en figures 2a et 2b, un premier exemple d'acquisition de l'image à partir d'une matrice d'un capteur pseudo aléatoire à l'aide d'un motif réduit et de reconstruction linéaire de l'image ;

- en figures de 3a à 3i, un deuxième exemple d'acquisition à partir d'une matrice d'un capteur pseudo aléatoire, à l'aide d'un motif égal à la taille de l'image et de reconstruction adaptative ;

- en figures de 4a à 4i, ledit deuxième exemple d'acquisition à partir d'une matrice d'un capteur pseudo aléatoire, à l'aide d'un motif égal à la taille de l'image et de reconstruction adaptative.

Un exemple de système mettant en œuvre le procédé d'acquisition par un capteur à motif pseudo aléatoire et du traitement des images numériques de la présente invention, composé de modules de traitement interconnectés entre eux, est présenté en référence à la figure 1.

Une caméra numérique 10 est constituée d'un capteur couleur à motif pseudo aléatoire 18 selon l'invention, une unité de traitement 24, comprenant un module de reconstruction 26 et un module de compression 32, un module de stockage 40, un module d'affichage 44 et une interface de sortie 52.

Une image 14 acquise par le capteur 18 via le lien 12, est filtrée à l'aide de la matrice de filtres couleur

5 pseudo aléatoire 16, qui est déjà comprise dans le capteur. L'image filtrée 22 est transmise via le lien 20 à l'unité de traitement 24, plus précisément au module de reconstruction 26, effectuant l'application des filtres de reconstruction linéaire, et l'interpolation, au sein duquel est réalisée la reconstruction de l'image captée. L'unité de traitement 24 est capable aussi de communiquer avec le capteur 18 via le lien 20.

10 L'image reconstruite 30 en format brut est transmise à un module de stockage 40 via le lien 36 pour être sauvegardée. Également, l'image reconstruite 30 en format brut est directement transmise à un module d'affichage 44 pour être visualisée. Alternativement, les images 15 reconstruites sauvegardées dans le module de stockage 40 sont transmises au module d'affichage 44 via le lien 42 et être visualisées ultérieurement.

20 Alternativement, l'image reconstruite 30 est transmise via le lien 28 à un module de compression 32 d'images en format brut. Le module de compression contient au moins un encodeur numérique. Alternativement, le module de compression 32 est compris dans le module de reconstruction 26. Après encodage, l'image compressée 38 est transmise au 25 module de stockage 40 via le lien 34.

30 Alternativement, l'image compressée 38 est transmise au module d'affichage 44 pour être visualisée. Le module d'affichage 44 comporte au moins un décodeur numérique apte à interpréter l'image compressée 38. Alternativement, le module de compression récupère à partir du module de stockage 40, une image reconstruite brute pour la compresser.

5 A partir du module de stockage 40 ou du module d'affichage 44, l'image reconstruite 50, soit en format brut, soit en format compressé est transmise à une interface de sortie 52, via le lien 46. A partir de l'interface de sortie 52, l'image traitée comme décrit ci-dessus est envoyée via le lien 54 vers au moins un support numérique extérieur.

10 On décrit maintenant un capteur d'acquisition d'images numériques 18 selon l'invention. Un exemple de mise en œuvre du procédé d'acquisition avec un capteur à motif aléatoire 18, et de reconstruction linéaire de l'image captée dans le module 26, est présenté en référence aux figures 2a et 2b.

15 Dans ce premier exemple d'acquisition d'une image 14 et de reconstruction de cette image 30, l'acquisition est effectuée avec une matrice 16 et un motif réduit 70 de taille  $n \times n$ , avec «  $n$  » un entier naturel qui est de préférence supérieur ou égal à 4.

20 La matrice de filtres couleur 16 formant le capteur 18 est constituée d'une pluralité de motifs de base 70 identiques répliqués sans recouvrement. Chacun des motifs de base 70 est constitué de filtres couleur 72, 82, 84 arrangés de façon pseudo aléatoire, de sorte qu'il existe, dans chacun des motifs de base 70, un pas variable entre deux filtres couleur consécutifs de même type dans les directions horizontales et/ou verticales du motif de base.

30 La reconstruction mise en œuvre est linéaire et fait intervenir une pondération d'un voisinage de pixels 76, de dimension  $m \times m$ ,  $m$  étant un nombre entier naturel, supérieur à  $n$ , tout en réduisant la complexité des filtres de

reconstruction. Alternativement, le motif de base et le voisinage sont rectangulaires.

Egalement, une décomposition en luminance et en 5 chrominance est appliquée.

Pour la calibration des coefficients des filtres linéaires, le procédé est aussi réalisé à l'aide de l'utilisation d'un module étant dépourvu de matrices de 10 filtres couleur. Ce module permet l'acquisition d'une image achromatique qui est utilisée comme consigne à partir de laquelle est effectuée la détermination des coefficients à motif aléatoire par la méthode des moindres carrés.

La reconstruction de l'image est ensuite effectuée à 15 partir de la luminance estimée et des trois composantes chromatiques interpolées.

Dans cet exemple, le procédé est présenté selon les étapes I à III suivantes:

- 20
- L'étape I de définitions de la matrice de filtres couleur 16 au regard de la figure 2a illustrant un exemple d'arrangement d'un motif 70 de taille 6x6, avec mise en évidence du motif de base, avec un 25 voisinage 76 de taille 12x12.

Un motif de base 70 de taille réduite est défini à la figure 2a, constitué de pixels 72 représentés en noir (correspondant à la couleur verte), de pixels 82 représentés en rayé (correspondant à la couleur bleu et de pixels 84 représentés en blanc (correspondant à la couleur rouge). Par exemple un motif de taille 6x6 est composé d'un arrangement pseudo aléatoire de filtres couleur, c'est-à-dire que le pas, entre deux filtres consécutifs du même

5 type, est variable dans les directions horizontale ou verticale de la matrice. Ce motif de base est appliqué sur des blocs de même taille pour l'ensemble de l'image. Ce motif irrégulier s'applique sur un maillage carré ou hexagonal centré, pour un nombre de filtres quelconque et dont les filtres sont de transmission quelconque.

10 La définition de ce motif est effectuée à partir de la considération d'alternance des filtres dans le voisinage, afin d'éviter les agglomérats de filtres de la même couleur, évitant ainsi les apparitions de « fausses couleurs ». La solution retenue est avec deux filtres 72 et 84 de sensibilité à la longueur d'onde très proche (autour du vert et du rouge), couvrant pseudo aléatoirement la majorité d'un 15 bloc de base et avec un troisième filtre 82 parsemé pseudo aléatoirement dont le maximum de sensibilité est dans le bleu. Cette configuration s'approche de celle du système visuel humain.

20 Une réPLICATION sans recouvrement de ce motif de base 70 est appliquée sur l'ensemble de la matrice 16 du capteur 18. Le capteur proposé est donc une combinaison entre un capteur périodique, où le pas entre deux mêmes motifs de 25 filtres successifs est constant et un capteur totalement pseudo aléatoire, à l'échelle de blocs de pixels de taille 6x6.

30 • La construction des filtres de reconstruction linéaire à partir des calculs suivants constitue l'étape II.

Un calcul des coefficients des filtres de reconstruction est effectué. C'est une étape de calibration pour la mise en oeuvre de la reconstruction, qui est

effectuée une ou plusieurs fois en fonction du changement des caractéristiques spatiales (optiques) ou spectrales (ajout de filtres colorés) de l'image acquise. Cette étape 5 est réalisée soit par une simulation sur une base de données d'images, soit par une construction et une application d'un module étant dépourvu de matrice de filtres couleur.

La soustraction de la luminance de la mosaïque des couleurs est effectuée. Un calcul de l'information de 10 couleur composée des chrominances codées en opposition de couleurs est appliqué. Les nouveaux coefficients de pondération du voisinage sont utilisés pour réaliser l'interpolation de la chrominance, c'est-à-dire des trois composantes chromatiques.

15

Tout d'abord, un calcul des coefficients des filtres de reconstruction est effectué. Ces filtres servent à la pondération de l'influence des pixels dans le voisinage 76.

20

Ensuite est défini un choix des filtres de reconstruction directe des couleurs manquantes dans la mosaïque 74 en utilisant une base de données d'images significative .

25

Dans ce cas, l'action de la mosaïque de couleur 74 est simulée, par suppression dans cette mosaïque des couleurs manquantes sur l'image couleur, résultant en l'obtention d'une image intermédiaire.

30

Ensuite, une image de luminance est estimée, comme la somme pondérée pour chaque pixel des valeurs rouge, vert et bleu des images de la base de données, respectivement avec des coefficients pR, pG et pB des composantes R, G et B. Ces coefficients pR, pG et pB sont les proportions de

5 chaque filtre qui compose la mosaïque pseudo aléatoire. La luminance, c'est-à-dire l'information spatiale achromatique, est estimée pour chaque pixel, par exemple une des valeurs optimales des coefficients de pondération est  $pR = pG = pB = 1/3$ .

10 Les coefficients de la batterie des trente-six filtres de taille variable, sont calculés comme la solution aux moindres carrés de l'erreur quadratique entre l'image intermédiaire en mosaïque simulée et la luminance estimée.

15 Alternativement, une estimation des filtres de la luminance est basée sur l'utilisation d'un second module capteur dépourvu de matrice de filtre couleur. En effet, la luminance correspond à un signal qui serait mesuré par le capteur s'il était dépourvu de la matrice de filtres couleurs. La démarche consiste donc à utiliser un capteur qui est dépourvu de la matrice de filtres couleur pour mesurer la luminance et qui est pourvu de la matrice de 20 filtres couleurs pour mesurer la mosaïque de la base de données d'images. Plusieurs prises de vue de la même scène sont effectuées avec ces deux modules, afin d'estimer le filtre de luminance à partir de cette base de données des 25 prises de vue. Cette approche permet de réaliser une configuration des filtres, qui représente le mieux les caractéristiques optiques et spectrales du système d'acquisition.

30 L'estimation des filtres de la chrominance est également effectuée par la méthode des moindres carrés. Cette méthode permet d'estimer les filtres d'interpolation de la chrominance de taille réduite, c'est-à-dire la réduction en pratique de la surface du voisinage 76.

- Enfin, une étape III de reconstruction linéaire de l'image 30 est effectuée en référence à la figure 2b.

5 Les coefficients des filtres étant calculés à l'étape  
II, la reconstruction de l'information est réalisée bloc par  
bloc 70, 80. Le calcul de la valeur du pixel est effectué en  
utilisant une somme pondérée de tous les pixels du voisinage  
76, le même calcul avec les trente six filtres différents  
10 est effectué pour tous les pixels 72, 82 et 84 du bloc. Ce  
calcul est également effectué pour le bloc suivant 80 (en  
pointillé sur la figure 2b), et le voisinage suivant 78 (en  
pointillé sur la même figure 2b), et pour l'ensemble de  
l'image 30. Alternativement, ce calcul est appliqué pour une  
15 taille de bloc et de voisinage quelconque.

La reconstruction de l'image 30 est faite avec la somme de la luminance estimée et de la chrominance interpolée.

20 Le procédé est définit en deux temps, en un premier temps une décomposition en luminance et chrominance, et en un deuxième temps, une recomposition de l'image à partir de la luminance estimée et de la chrominance interpolée. Cela 25 permet d'utiliser deux matrices de filtres différentes pour l'estimation de la luminance et pour l'interpolation de la chrominance et d'éliminer ainsi les domaines de fréquences spatiales intermédiaires où l' « aliasing » (« aliasing », repliement de spectre en langue anglaise) apparaît.

30 Avantageusement, un autre mode de réalisation de la reconstruction consiste à calculer la chrominance comme la différence entre la luminance et la mosaïque 74 des couleurs. cela correspond à l'utilisation d'un filtre de

chrominance inverse à celui de la luminance. Alternativement, afin de réduire les artefacts, les filtres passe-bas de la luminance et passe-haut de la chrominance définissent les bandes spectrales suffisamment séparées pour diminuer sensiblement le recouvrement spectral. C'est une autre manière de supprimer les fréquences spatiales intermédiaires, où le risque d'aliasing (repliement de spectre en langue anglaise) est plus élevé.

Un deuxième exemple de réalisation d'un procédé d'acquisition d'une image 14 et de reconstruction de cette image 30, schématisé aux figures de 3a à 3i, est l'acquisition de l'image avec une matrice 16 de filtres couleur de taille égale à celle de l'image. La matrice 16 est telle que décrite précédemment, c'est-à-dire qu'elle est constituée d'une pluralité de motifs de base identiques répliqués sans recouvrement. Chacun des motifs de base est constitué de filtres couleur arrangés de façon pseudo aléatoire, de sorte qu'il existe, dans chacun des motifs de base, un pas variable entre deux filtres couleur consécutifs de même type dans les directions horizontales et/ou verticales du motif de base.

Une décomposition en luminance et en chrominance est également appliquée.

Une reconstruction adaptative de l'image à partir des chrominances ramenées en bande de base est effectuée. Cette reconstruction est réalisée via un calcul basé sur le gradient de la luminance estimée par un filtre passe-bas normalisé en R, G et B, dont le gradient indique si l'interpolation des chrominances doit être faite dans le sens vertical ou horizontal de l'image. On entend par le terme « gradient horizontal » une évolution relative aux

lignes de l'image et par « gradient vertical» une évolution relative aux colonnes de l'image.

Cet exemple permet également d'utiliser le capteur 18 et le module de reconstruction 26 pour la reconstruction de l'image captée 14 avec les mêmes avantages, en mettant en place un deuxième exemple de réalisation dont les étapes sont présentées et les résultats du traitement sont schématisés aux figures de 3a à 3i.

10

Les figures de 3a à 3i sont respectivement la schématisation des figures 4a (image originale 14), 4b (image captée 22), 4c (spectre de l'image captée 84), 4d (basses fréquences estimées contenant la luminance 86), 4e (les trois chrominances plus les hautes fréquences de luminance 88), 4f (la chrominance rouge initiale plus les hautes fréquences de luminance 90), 4g (chrominance rouge interpolée 92), 4h (luminance estimée 94 à nouveau, à partir des chrominances interpolées) et 4i (image reconstruite 22).

20

Une image originale 14 (figure 3a) est échantillonnée par une matrice 16 de filtres couleur. L'image échantillonnée 22 (figure 3b) présente un spectre 84 (figure 3c), dont les basses fréquences estimées contiennent la luminance 86 (figure 3d) et les trois chrominances plus les hautes fréquences de luminance 88 (figure 3e). Un démultiplexage des trois chrominances de 88 (figure 3e) est effectué, par exemple ici est illustrée la chrominance rouge initiale plus les hautes fréquences de luminance 90 (figure 3f). Les trois chrominances sont ensuite interpolées à l'aide du procédé adaptatif, par exemple la chrominance rouge 92 (figure 3g) est interpolée à partir de la chrominance rouge initiale de 90 (figure 3f). La luminance 94 (figure 3h) est estimée à nouveau à partir des

chrominances interpolées, c'est-à-dire à partir de la chrominance rouge 92 et des chrominances verte et bleue. L'image 30 est finalement reconstruite (figure 3i) à partir de la luminance estimée et des trois composantes interpolées de la chrominance.

L'acquisition de l'image est effectuée par un capteur couleur 18, dans lequel est placée une matrice 16 de filtres couleur. La répartition des couleurs doit être telle que les porteuses de chrominance, définies par la transformée de Fourier des fonctions de modulation de chacune des trois chrominances, forment une modulation spectrale, avantageusement la plus blanche possible pour réduire les effets de cohérence de la chrominance sur la luminance, comme par exemple dans le cas où les porteuses de chrominances sont peu présentes dans les basses fréquences spatiales de la luminance.

Le procédé d'acquisition et de reconstruction s'articule par exemple autour des trois étapes I à III suivantes :

- Etape I d'estimation et retrait de la luminance 86 (figure 3d) de l'image 22.

25

Le traitement commence par l'acquisition de l'image originale 14, en une image captée 22 (figure 3b). Une transformation spectrale de l'image 22 est appliquée par exemple, pour obtenir le spectre 84 (figure 3c). Ensuite, sont estimées par un filtrage les fréquences les plus basses, les basses fréquences de la luminance.

Le filtre utilisé est normalisé en R, G et B, c'est-à-dire qu'il a pour fonction de respecter à chaque position spatiale, une contribution à hauteur de pR, pG et pB,

respectivement pour chaque couleur R, G et B. Autrement dit, à chaque pixel, une normalisation du filtre a lieu pour que la somme des coefficients correspondant aux filtres de couleur R, G et B soit égale respectivement à  $p_R$ ,  $p_G$  et  $p_B$  de la luminance estimée.

La luminance 86 (figure 3d) correspond aux fréquences les plus basses, estimée à partir de l'image 22 du capteur, est retirée de cette image 22, en créant ainsi un spectre 88 (figure 3e) avec un trou en basses fréquences spatiales dans le spectre 84 (figure 3c) de l'image 22.

- Interpolation des chrominances à partir du gradient de la luminance (étape II).

Le démultiplexage de l'image 22 est ensuite appliqué par isolation des images correspondant aux sous matrices de mêmes sensibilités spectrales, par exemple à la chrominance rouge de 90 (figure 3f). Cette opération a pour effet de ramener les porteuses de chrominance en fréquences spatiales nulles, c'est-à-dire au centre du spectre.

Une interpolation est réalisée sur les chrominances ramenées en bande de base. L'avantage de ce procédé est de pouvoir utiliser une interpolation adaptative, basée sur un calcul du gradient des basses fréquences de la luminance 86 (figure 3d) estimée.

Ce gradient indique en effet, si une interpolation des couleurs est faite suivant la verticale, l'horizontale ou en moyenne de tous les points voisins : si le gradient vertical est plus fort que le gradient horizontal, un contour est considéré comme horizontal, et l'interpolation des couleurs n'est pas effectuée à travers ce contour, mais

plutôt le long du contour, c'est-à-dire horizontalement dans ce cas. Le gradient de la luminance 86 (figure 3d), respectivement horizontal et vertical, est utilisé pour décider si l'interpolation des couleurs est faite suivant le sens horizontal ou vertical, en fonction de la valeur respective des gradients. Ainsi, la chrominance rouge 92 (figure 3g) est interpolée.

- 10           • Calcul de la luminance et de la reconstruction adaptative de l'image (étape III).

15           Etant donnée la nature linéaire de la composition de la luminance et de la chrominance, les chrominances interpolées par le procédé adaptatif sont retirées de l'image 22 acquise par le capteur, pour récupérer toutes les bandes de fréquence de la luminance 94 (figure 3h). Cette luminance est alors calculée comme étant le résidu de ce qui n'est pas chromatique au sens de l'adaptation en luminance .

20           Ensuite, la reconstruction de l'image 30 est effectuée à partir de la luminance 94 estimée à nouveau (figure 3i) et des trois chrominances R, G, B interpolées.

25           La présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits. Il est en effet possible de définir des matrices de capteur de filtres couleur pseudo aléatoires avec différents tailles et formes de motifs pour l'acquisition, les motifs pseudo aléatoires pouvant être périodiques ou non périodiques par exemple. Concernant la reconstruction, une multitude de procédés peuvent être appliquées, contenant différents nombres d'étapes et différents types de calculs. Le module de reconstruction

peut être accueilli dans une machine hôte externe ou intégré dans l'unité de traitement numérique.

5           Il est également possible de définir des matrices de filtres couleur différentes, adaptées en fonction des différents types d'applications, par exemple photos satellite, imagerie médicale ou autres.

10           Généralement, la reconstruction en temps réel de l'image est partielle dans une caméra, afin de permettre l'affichage des images en temps réel et d'avoir la possibilité d'effectuer des prises de vue successives.

15           En ce qui concerne les images satellites par exemple, ou tous les dispositifs qui ne nécessitent pas de visualisation immédiate du résultat et fonctionnent en temps différé, un enregistrement des données captées est effectué en format brut et ensuite la reconstruction complète des 20 couleurs est réalisée en différé.

              Alternativement, le procédé permet aussi l'adaptation de la luminance et la mise en œuvre d'un filtrage récursif.

25           De plus, la présente invention est applicable à tout type de capteurs, quelle que soit la technologie CDD (initiales de « Charged Coupled Device » en anglais, soit dispositif à transfert de charge) ou CMOS (circuits Métal Oxyde Semi-conducteur complémentaires) et quelle que soit la 30 taille du capteur.

**REVENDICATIONS**

1. Capteur d'acquisition d'images numériques (18) comprenant une matrice (16) de filtres couleur, la matrice étant constituée d'une pluralité de motifs de base identiques (70) répliqués sans recouvrement, chacun des motifs de base étant constitué de filtres couleur (72, 82, 84) arrangés de façon pseudo aléatoire, de sorte qu'il existe, dans chacun des motifs de base (70), un pas variable entre deux filtres couleur consécutifs de même type dans les directions horizontales et/ou verticales du motif de base.  
5
2. Capteur selon la revendication 1, dans lequel le motif de base (70) des filtres couleur de la matrice de filtres couleur est égal ou supérieur à 4x4 pixels d'une image et est inférieur à la taille de cette image.  
15
3. Capteur selon la revendication 1, dans lequel le motif de base (70) des filtres couleur de la matrice de filtres couleur est de la même taille que la taille l'image.  
20
4. Procédé d'acquisition et de reconstruction d'images numériques à partir d'un capteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il consiste à filtrer lesdites images (14) lors de leur acquisition par ledit capteur (18) à l'aide de ladite matrice de filtres couleur (16), en effectuant ainsi une acquisition des composantes rouge, verte et bleu pour une reconstruction d'au moins une image (30), à partir desdites composantes acquises de chaque image (22).  
25  
30
5. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel une décomposition en luminance et chrominance de l'image

acquise (22) est effectuée.

6. Procédé selon la revendication 4, dans lequel une décomposition en luminance et chrominance de l'image acquise 5 (22) est effectuée, à l'aide du capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 pour l'acquisition de la chrominance et à l'aide d'un capteur dépourvu de matrice de filtres couleur pour l'acquisition de la luminance.

10 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, dans lequel la luminance est estimée et les trois composantes de la chrominance sont interpolées à partir des données acquises par le capteur à motif pseudo aléatoire (18) selon l'une des revendications 1 à 3.

15 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, dans lequel la reconstruction de l'image (30) est effectuée à partir de la luminance estimée et des trois composantes de la chrominance interpolées à partir de 20 l'image captée (22).

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, dans lequel la reconstruction de l'image (30) est linéaire et fait intervenir uniquement une pondération d'un voisinage 25 de pixels (72), (82) et (84), à partir du motif de base (70) et d'un voisinage (76).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, dans lequel la reconstruction de l'image (30) est adaptative 30 et non linéaire, et effectue une interpolation des chrominances du spectre (88) ramenées en bande de base, via un calcul basé sur le gradient de la luminance (86) estimée par un filtre passe-bas normalisé, ledit gradient des basses fréquences de la luminance (86) indiquant le sens vertical

ou horizontal d'interpolation des trois chrominances.

11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel un démosaïçage est effectué par élimination des fréquences à risque par transfert des porteuses desdites chrominances en fréquences spatiales nulles.

12. Système d'acquisition d'images pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 11, 10 composé de modules d'acquisition et de traitement numérique connectés entre eux, comprenant au moins un capteur (18) selon l'une des revendications 1 à 3, un module de compression (32) en liaison avec un module de reconstruction (26), un module de stockage (40), un module d'affichage (44) 15 et une interface de sortie (52).

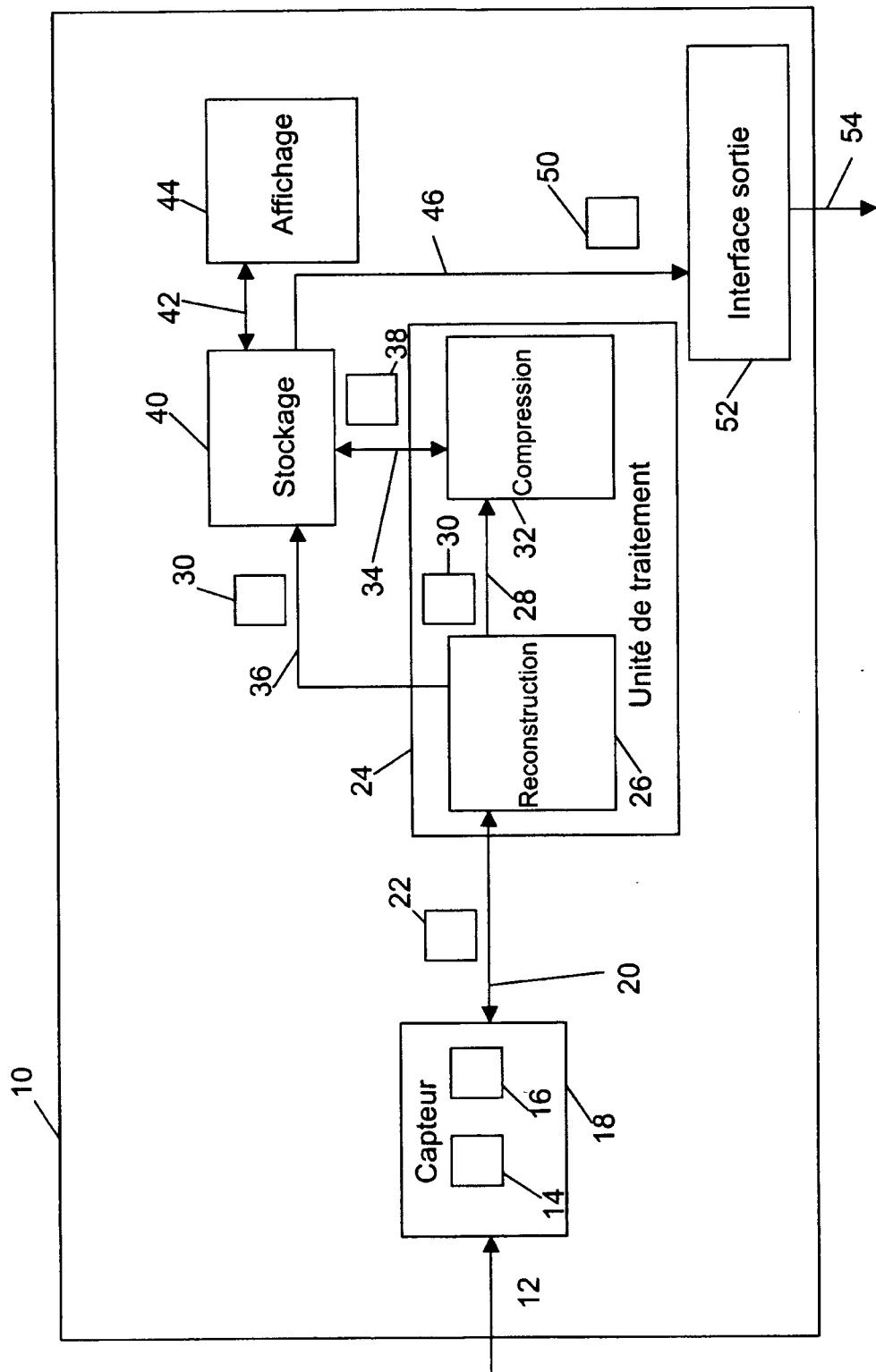
13. Système d'acquisition et de reconstruction d'images numériques selon la revendication 12 pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 9 ou selon les 20 revendications 10 et 11, dans lequel l'image (30) est reconstruite dans le module de reconstruction (26).

14. Système d'acquisition et de reconstruction d'images numériques selon la revendication 13 pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, 25 dans lequel l'image reconstruite (30) dans le module de reconstruction (26) est compressée par au moins un encodeur dans le module de compression (32).

30 15. Système d'acquisition et de reconstruction d'images numériques selon la revendication 13 pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, dans lequel l'image reconstruite (30) dans le module de reconstruction (26) est compressée par au moins un encodeur

(32) compris dans le module de reconstruction (26).

1/4



## FIGURE 1

2/4

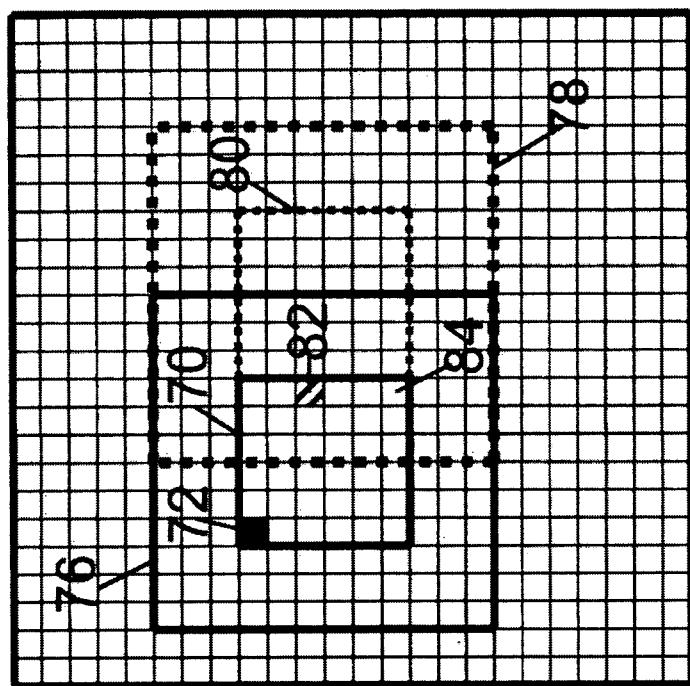


FIGURE 2b

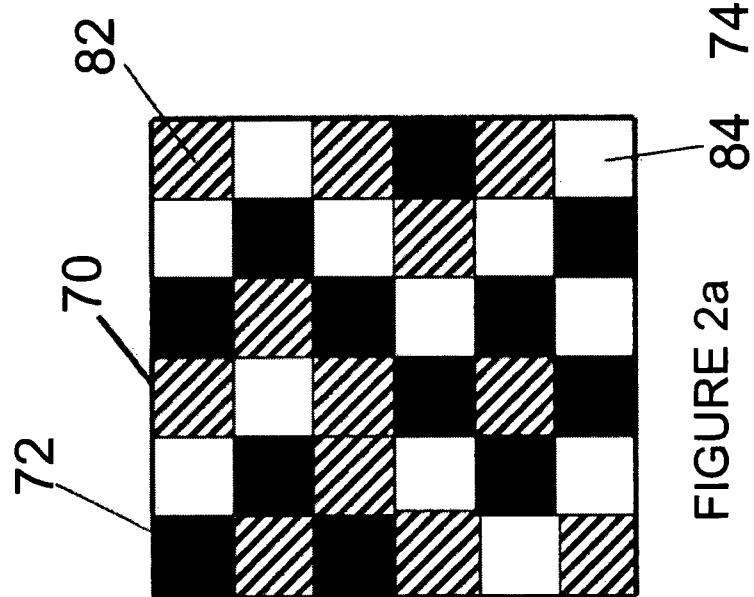
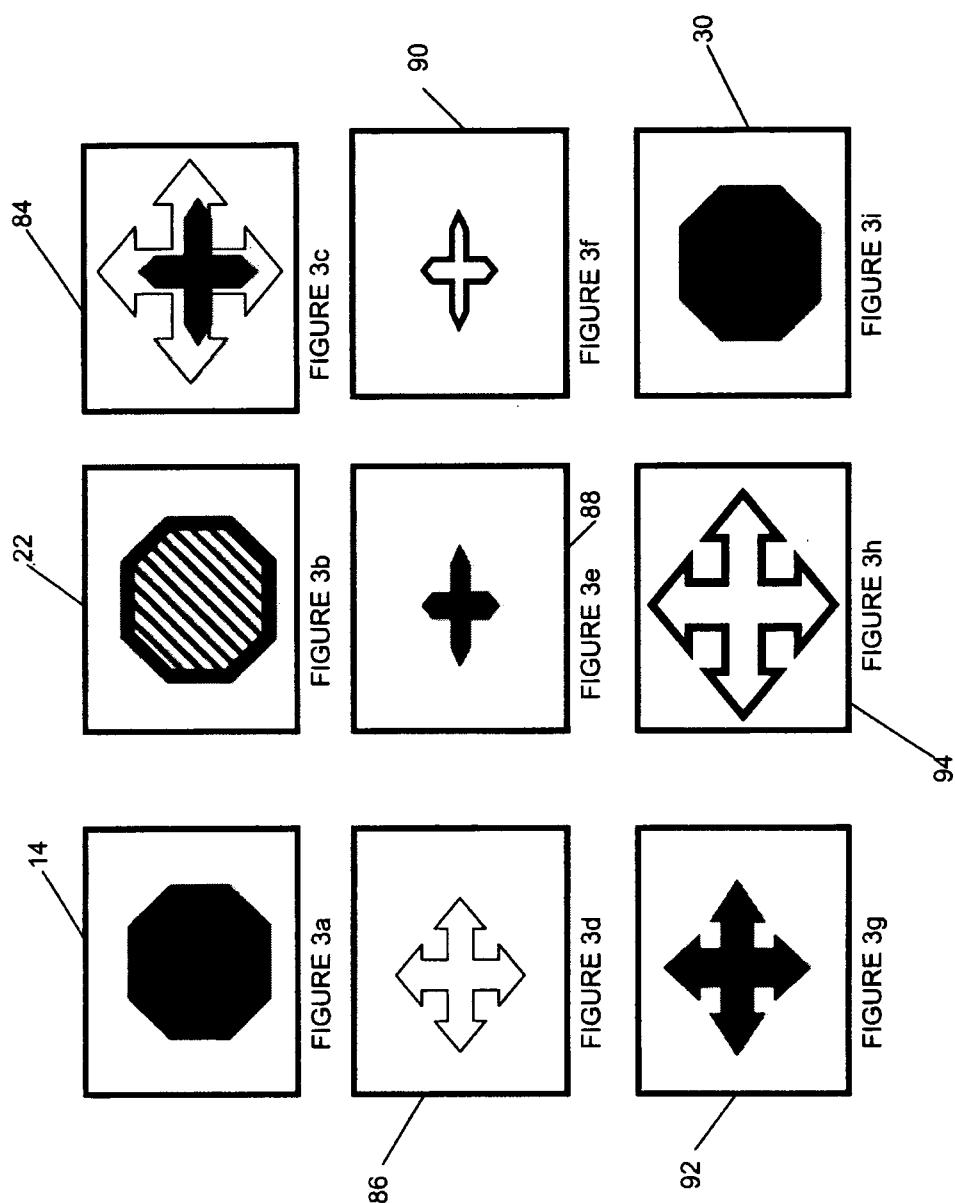


FIGURE 2a

3/4



4/4

