



(11) **EP 0 997 806 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
03.05.2000 Bulletin 2000/18

(51) Int Cl.7: **G06E 3/00**

(21) Numéro de dépôt: **99402707.6**

(22) Date de dépôt: **29.10.1999**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
 Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: **30.10.1998 FR 9813668**

(71) Demandeur: **THOMSON-CSF**
75008 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
 • **Colin Jérôme,**
Thomson-CSF PI Dépt. des Brevets
94117 Arcueil Cedex (FR)
 • **Micheron, François,**
Thomson-CSF PI Dépt. Brevets
94117 Arcueil Cedex (FR)

(74) Mandataire: **Chaverneff, Vladimir et al**
Thomson-CSF Propriété Intellectuelle,
13, Avenue du Président Salvador Allende
94117 Arcueil Cédex (FR)

(54) **Procédé de corrélation d'images non binaires et dispositif de mise en oeuvre**

(57) Le procédé de l'invention est un procédé de corrélation d'images de scènes non binaires avec des images de référence sans perte d'information, appliqué à des images numérisées (I) dont chaque pixel est codé sur N bits, et il est caractérisé en ce qu'il consiste à ef-

fectuer un pré-traitement de chacune des images de scène et de référence, pré-traitement selon lequel on transforme les N bits de chaque pixel de chaque image en au moins N pixels binaires, à constituer une image transformée (F) à partir de ces pixels binaires et à corréler les images transformées correspondantes.

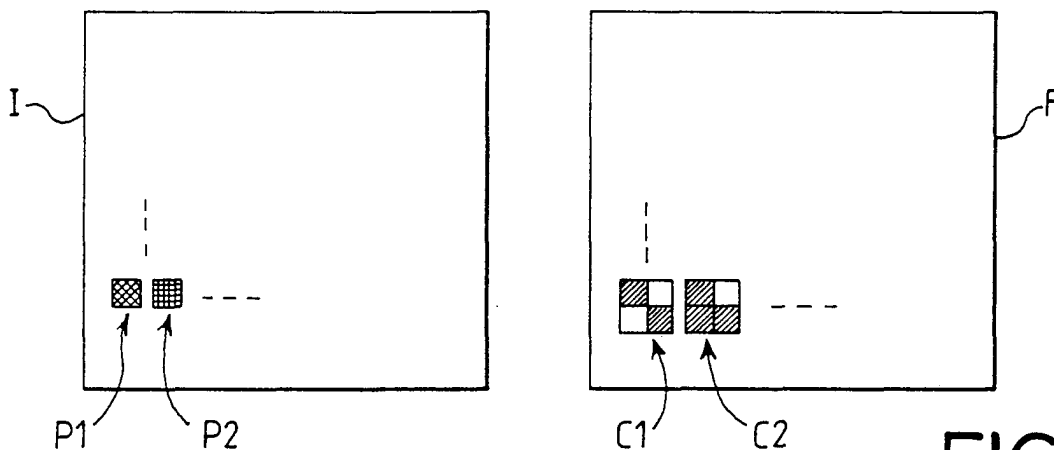


FIG.2

Description

[0001] La présente invention se rapporte à un procédé de corrélation d'images non binaires et à un dispositif de mise en oeuvre de ce procédé.

[0002] Dans le domaine des processeurs optiques, les corrélateurs optiques sont des systèmes de reconnaissance de formes. Ils présentent particulièrement un intérêt si on opère à haute cadence de traitement des images (plusieurs centaines d'images par seconde). Pour ce faire, il existe actuellement des modulateurs spatiaux de lumière (SLM) capables d'afficher des images à haute cadence. Cependant, la plupart de ces SLM ne possèdent qu'un mode d'affichage binaire en noir et blanc, alors que les images à traiter possèdent un codage en niveaux de gris.

[0003] Les corrélateurs optiques sont des systèmes optiques connus. Il existe principalement deux architectures optiques pour les réaliser: le corrélateur de Vander Lugt (A. Vander Lugt, « Signal detection by complex filtering », IEEE. Trans. Inform. Theory IT-10, 139-145 de 1964) et le corrélateur joint (C. S. Weaver et J. W. Goodman, « Technique for optically convolving two functions », Appl. Opt. 5, 1248-1249 de 1966). Le principe de fonctionnement de ce dernier est représenté sur la figure 1.

[0004] Dans ce corrélateur connu de la figure 1, on représente côte à côte une image scène (S) et une image référence (R) sur un afficheur (A) illuminé par un faisceau cohérent. Le faisceau portant les images subit alors une transformation de Fourier par la lentille L1. Les interférences entre les spectres obtenus dans le plan de Fourier sont enregistrées par un matériau non linéaire (M), comme en holographie : un des termes enregistrés correspond au produit des spectres. L'hologramme est ensuite relu par un second faisceau cohérent, qui subit une transformation de Fourier par la lentille L2. En sortie, le terme correspondant au produit des spectres porté par ce faisceau fournit le produit de corrélation, qui est détecté, puis traité de façon connue en soi.

[0005] Pour afficher les images (ou filtres), on utilise classiquement des SLM à cristaux liquides nématiques ayant un mode d'affichage avec des niveaux de gris. Mais ces dispositifs fonctionnent à basse cadence (cadence vidéo 25 images/s, avec affichage sur 8 bits de niveau de gris, au format VGA).

[0006] A haute cadence, il faut utiliser des SLM rapides mais à affichage binaire. On peut citer parmi ceux-ci :

- les SLM ferroélectriques : avec affichage à des cadences de 100 à 10.000 Hz, au format VGA ou SVGA,
- les micromiroirs (DMD) : avec affichage à des cadences supérieures à 10kHz, classiquement au format 800*600,
- les SLM à multipuits quantiques : avec affichage à des cadences supérieures à 100kHz au format

256*256.

Pour pouvoir traiter des images non binaires (en niveaux de gris ou en couleurs), arrivant à des cadences nettement supérieures à 10 kHz, avec une bonne définition (au moins 800*600), il faut effectuer un pré-traitement de binarisation de ces images. En effet, les corrélateurs optiques haute cadence connus ne peuvent fonctionner qu'avec des images binaires, alors que les images à corrélérer possèdent des niveaux de gris.

Actuellement, deux méthodes de pré-traitement des images ont été utilisées dans les corrélateurs optiques à SLM binaires :

- La première consiste à binariser directement l'image de telle sorte qu'en-dessous d'une valeur seuil, les pixels soient noirs et qu'au-dessus ils soient blancs.
- La seconde consiste à appliquer un filtre mathématique connu, comme le rehaussement de contours, puis à binariser l'image.

[0007] Ces techniques posent deux problèmes. D'abord, le seuil de binarisation est un paramètre délicat à déterminer, qui dépend en pratique de chaque image. Il n'y a pas de seuil idéal. Ensuite, le fait de binariser les images résulte en une grande perte d'information, car toute l'information contenue dans les niveaux de gris est perdue. Ainsi, il est connu qu'une image dont on a augmenté et binarisé les contours est moins robuste aux distorsions de rotation et de changement d'échelle.

[0008] La présente invention a pour objet un procédé de corrélation permettant de corrélérer des images non binaires produites à haute cadence (en particulier une cadence de 10kHz ou plus), avec une bonne définition (par exemple 800*600 ou davantage), et sans perte d'information.

[0009] La présente invention a également pour objet un corrélateur numérique permettant de corrélérer des images non binaires avec des pics de corrélation nettement supérieurs (plusieurs fois) à ceux des corrélateurs connus, et ce, sans perte d'information, ou, éventuellement une perte minimale ne dégradant pratiquement pas la robustesse aux distorsions de rotation et de changement d'échelle, ce corrélateur ne devant pas être sensiblement plus onéreux que les corrélateurs connus.

[0010] Le procédé de l'invention est un procédé de corrélation d'images de scènes non binaires avec des images de référence sans perte d'information, appliqué à des images numérisées dont chaque pixel est codé sur N bits, et il est caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer un pré-traitement de chacune des images de scène et de référence, pré-traitement selon lequel on transforme les N bits de chaque pixel de chaque image en au moins N pixels binaires, à constituer une image transformée à partir de ces pixels binaires et à corrélérer les images transformées correspondantes.

[0011] Selon un aspect du procédé de l'invention, on groupe à chaque fois en motifs géométriques simples

les N pixels binaires correspondant à chaque pixel défini sur N bits, en conservant l'aspect global de chaque image.

[0012] Selon un autre aspect du procédé de l'invention, les N pixels binaires correspondant à chaque pixel défini sur N bits sont répartis aléatoirement ou pseudo-aléatoirement dans l'image transformée.

[0013] Selon un autre aspect du procédé de l'invention, les N pixels binaires correspondant à chaque pixel défini sur N bits sont transformés en un nombre de pixels qui est fonction de leurs poids respectifs.

[0014] Selon un autre aspect du procédé de l'invention, les images traitées sont définies avec des niveaux de gris en amplitude et/ou en phase.

[0015] Selon encore un autre aspect du procédé de l'invention, les images transformées sont transformées de façon autoadaptative.

[0016] Selon encore un autre aspect du procédé de l'invention, la transformation est une transformation temporelle, les N bits de chaque pixel d'une image étant répartis dans des images transformées successives.

[0017] Selon encore un autre aspect du procédé de l'invention, on garde dans les images transformées, pour chacun des N bits, l'emplacement original du pixel correspondant.

[0018] Selon encore un autre aspect du procédé de l'invention, on ne garde pas dans les images transformées, pour chacun des N bits, l'emplacement original du pixel correspondant.

[0019] Ainsi, d'une part, on n'effectue pas de seuillage des images. D'autre part, toute l'information contenue dans les images est conservée à l'affichage, bien que cet affichage soit binaire. On peut donc réaliser un corrélateur optique haute cadence à affichage binaire, mais sans perte d'information dans les images. L'avantage du traitement est donc d'améliorer la facilité d'utilisation des corrélateurs optiques (plus de seuillage nécessaire) et d'obtenir des signaux de corrélation de meilleure qualité (pic plus intense, meilleur rapport signal à bruit, meilleure robustesse aux distorsions), car toute l'information de l'image est utilisée.

[0020] Le corrélateur de l'invention comporte un étage de pré-traitement et un corrélateur optique, l'étage de pré-traitement comprenant un dispositif de transcodage transformant chaque mot d'une suite de mots de N bits chacun en une série de N bits successifs, et un dispositif de calcul calculant des répartitions topologiques en deux dimensions pour chacune de ces séries.

[0021] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation, pris à titre d'exemple non limitatif et illustré par le dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1, déjà mentionnée ci-dessus, est un bloc-diagramme simplifié illustrant le fonctionnement d'un corrélateur optique connu, du type « joint » (J.T.C.),
- la figure 2 est une représentation simplifiée d'une

image non binaire à traiter et d'une image (filtre) telle qu'obtenue après traitement selon l'invention, et la figure 3 est un schéma simplifié d'un corrélateur optique de type « joint » tel qu'utilisé par la présente invention.

[0022] L'invention est décrite ci-dessous en référence à la corrélation d'images en niveaux de gris, par exemple en 256 niveaux de gris, mais il est bien entendu qu'elle n'est pas limitée à cette seule application, et peut être mise en oeuvre pour corrélérer des images définies sur un nombre différent de niveaux de gris, ou bien des images en couleurs.

[0023] Soit une image initiale I constituée de $L_{IX} \times L_{IY}$ pixels, codés sur N bits de niveaux de gris, dont on veut faire un filtre F binaire de taille $L_{FX} \times L_{FY}$ pixels. On considère un pixel de l'image, de niveau de gris G. On peut convertir le nombre G en binaire, ce qui donne les chiffres x_i ($x_i=0$ ou 1, i varie de 0 à N-1), tels que :

$$G = 2^{N-1} \cdot x_{N-1} + 2^{N-2} \cdot x_{N-2} + \dots + 2^1 \cdot x_1 + 2^0 \cdot x_0$$

[0024] L'invention consiste ensuite à disposer les différentes valeurs x_i dans le filtre F. Comme $x_i=0$ ou $x_i=1$, F est binaire. Il s'agit donc d'un multiplexage spatial des niveaux de gris. Comme il y a plus de pixels dans F que dans I, pour remplir F, il faut : $L_{IX} \times L_{IY} \cdot N < L_{FX} \times L_{FY}$.

[0025] Une disposition possible à partir d'une image 128*128 pixels codée sur 4 bits de niveaux de gris est la suivante :

[0026] A partir du pixel P1 (i,j) de l'image initiale I, on représente dans l'image transformée F (filtre) une configuration C1 comprenant 4 pixels. Le bit de niveau de gris de poids le plus faible est placé en (2i,2j), le bit de poids 1 est placé en (2i+1,2j), le bit de poids 2 est placé en (2i,2j+1), le bit de poids le plus grand est placé en (2i+1,2j+1). On procède de même pour le pixel voisin P2 de l'image I. On obtient la configuration C2 dans F, et ainsi de suite pour tous les pixels de l'image I. Un schéma de principe de cette disposition est donné en figure 2. D'autres transformations de l'image vers le filtre sont, bien entendu, possibles.

[0027] La transformation décrite ci-dessus permet de réaliser un filtre F conservant l'aspect global de l'image. Pour ce faire, il faut qu'à un pixel de l'image I (défini sur N bits) corresponde seul un groupe de N pixels du filtre : chaque pixel du filtre doit avoir au moins un voisin qui décrit aussi un autre bit de niveau de gris du même pixel de l'image. Du fait que l'on conserve son aspect global à l'image, il y a invariance par translation lors de la corrélation. Dans ce cas aussi, il y a une certaine robustesse à la rotation et au changement d'échelle, qui dépend de l'architecture optique.

[0028] Selon une première variante de l'invention, on peut réaliser un filtre F ne conservant pas l'aspect global de l'image. En effet, un corrélateur optique utilise une image scène et une image référence. Si ces deux ima-

ges sont des filtres pré-traités de manière identique (par exemple, par répartition aléatoire ou pseudo-aléatoire dans le filtre des N bits de chaque pixel), bien que non reconnaissables à l'oeil, il y a quand même un pic de corrélation en sortie du corrélateur. Pour cette raison, cette variante présente des avantages pour des applications avec besoin de confidentialité, car le prétraitement peut jouer le rôle de cryptage.

[0029] Selon une autre variante de l'invention, on peut donner des 'poids' différents aux différents bits de niveaux de gris. On peut coder les bits de poids faible avec un ou peu de pixels du filtre et les bits de poids forts avec plusieurs pixels du filtre.

[0030] Selon encore une autre variante de l'invention, on peut traiter des images avec des niveaux de gris en amplitude, en phase ou en amplitude et en phase en même temps. Dans un corrélateur optique de type joint ou Vander Lugt, ces techniques peuvent être utilisées pour afficher les images dans le plan image. Dans un corrélateur optique de type Vander Lugt, ces techniques peuvent être utilisées pour afficher les filtres dans le plan image et dans le plan de Fourier.

[0031] La formation du filtre F peut également être autoadaptative, par exemple en fonction des qualités dynamiques des images I (images statiques ou en mouvement), du type de ces images, de leur luminosité,....

[0032] La transformation décrite ci-dessus est une transformation spatiale, mais il est bien entendu qu'elle pourrait être temporelle : les N bits de chaque pixel d'une image I peuvent être répartis dans des filtres successifs (à raison d'un bit par filtre), en gardant ou non dans ces filtres, pour chacun des N bits, l'emplacement original du pixel correspondant.

[0033] Les applications de cette invention sont l'amélioration des performances des corrélateurs optiques pour la cadence opératoire, le rapport signal à bruit et la robustesse aux déformations. Des simulations montrent qu'avec un corrélateur JTC (décrit précédemment), il est possible de multiplier par 8 l'intensité du pic de corrélation en utilisant l'algorithme sur une image codée sur 4 bits de niveaux de gris.

[0034] Un exemple de corrélateur pouvant être utilisé par l'invention est représenté sur la figure 3. Ce corrélateur est un corrélateur joint photoréfractif. Dans ce corrélateur, un faisceau laser 1 cohérent (par exemple, laser YAG continu, doublé à 532 nm, de puissance 90mW) est étendu (extenseur de faisceau : XP sur le dessin). Il éclaire un modulateur spatial de lumière (ou SLM) ferroélectrique binaire (par exemple le modèle de la Société Displaytech, de résolution 256*256 pixels).

[0035] Sur le SLM sont représentées côte à côte les images scène s et référence r pré-traitées selon le procédé de l'invention. Ces deux images sont donc binaires. Le faisceau traverse le SLM puis subit une transformation de Fourier par la lentille L de distance focale $f=10\text{cm}$, placée à $+f$ du SLM. Le cristal photoréfractif C, placé à $+f$ de la lentille L, enregistre alors les produits des transformées de Fourier de r et s sous forme d'ho-

logramme. Le cristal photoréfractif C peut être un BSO ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$). Un second faisceau laser 2 (par exemple à longueur d'onde de 670 nm, de puissance 1 mW, continu) éclaire le cristal C selon l'angle de Bragg de relecture et diffracte donc deux faisceaux portant les produits des transformées de Fourier de s et r.

[0036] A la distance $+f$ du cristal, la même lentille L effectue la transformation de Fourier inverse du signal porté par le faisceau de lecture. Une caméra vidéo CCD détecte alors le produit de corrélation dans le plan de corrélation, situé à $+f$ de la lentille L. En effet, il est connu que la transformée de Fourier d'un produit est un produit de corrélation. Un ordinateur de contrôle (non représenté) est relié au SLM, auquel il adresse les images pré-traitées, et à la caméra CCD, pour analyser le plan de corrélation.

[0037] En conclusion, l'invention consiste en une technique de pré-traitement des images à niveaux de gris (ou en couleurs) pour une utilisation dans un corrélateur optique à affichage binaire. Sans cette invention, il est nécessaire de procéder à une étape de binarisation des images pour l'affichage, ce qui engendre une perte d'information importante.

[0038] En utilisant des techniques de multiplexage spatial (et/ou temporel) des niveaux de gris, il est possible de traiter les images pour les afficher sans perte d'information. Ce traitement de l'image peut conserver l'aspect de l'image ou non. Dans le corrélateur, ces filtres permettent alors d'obtenir un pic de corrélation plus intense et un meilleur rapport signal à bruit.

Revendications

1. Procédé de corrélation d'images de scènes (S) non binaires avec des images de référence (R) sans perte d'information, appliqué à des images numérisées dont chaque pixel est codé sur N bits, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer un pré-traitement de chacune des images de scène et de référence, pré-traitement selon lequel on transforme les N bits de chaque pixel de chaque image en au moins N pixels binaires, à constituer une image transformée à partir de ces pixels binaires et à corréler les images transformées correspondantes.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on groupe à chaque fois en motifs géométriques simples les N pixels binaires correspondant à chaque pixel défini sur N bits, en conservant l'aspect global de chaque image.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les N pixels binaires correspondant à chaque pixel défini sur N bits sont répartis aléatoirement ou pseudo-aléatoirement dans l'image transformée.
4. Procédé selon l'une des revendications précéden-

tes, caractérisé en ce que les N pixels binaires correspondant à chaque pixel défini sur N bits sont transformés en un nombre de pixels qui est fonction de leurs poids respectifs.

5

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les images traitées sont définies avec des niveaux de gris en amplitude et/ou en phase.

10

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les images transformées sont transformées de façon autoadaptative.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la transformation est une transformation temporelle, les N bits de chaque pixel d'une image étant répartis dans des images transformées successives

20

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'on garde dans les images transformées, pour chacun des N bits, l'emplacement original du pixel correspondant.

25

9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'on ne garde pas dans les images transformées, pour chacun des N bits, l'emplacement original du pixel correspondant.

30

10. Corrélateur numérique permettant de corrélérer des images non binaires caractérisé en ce qu'il comporte un étage de pré-traitement et un corrélateur optique, l'étage de pré-traitement comprenant un dispositif de transcodage transformant chaque mot d'une suite de mots de N bits chacun en une série de N bits successifs, et un dispositif de calcul calculant des répartitions topologiques en deux dimensions pour chacune de ces séries.

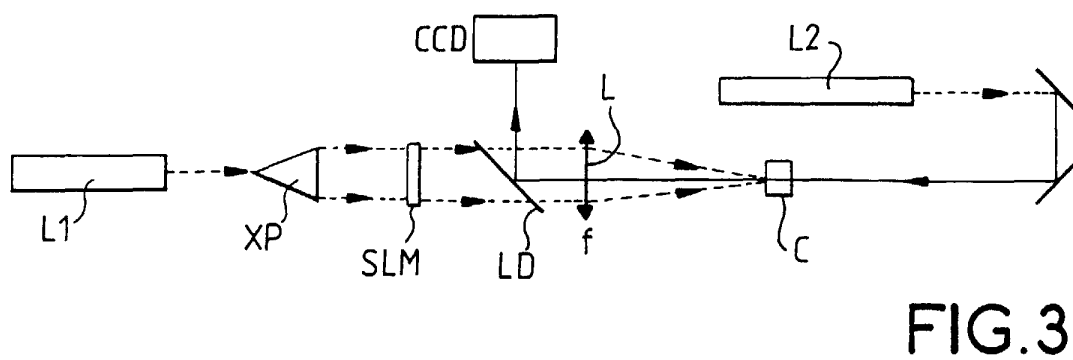
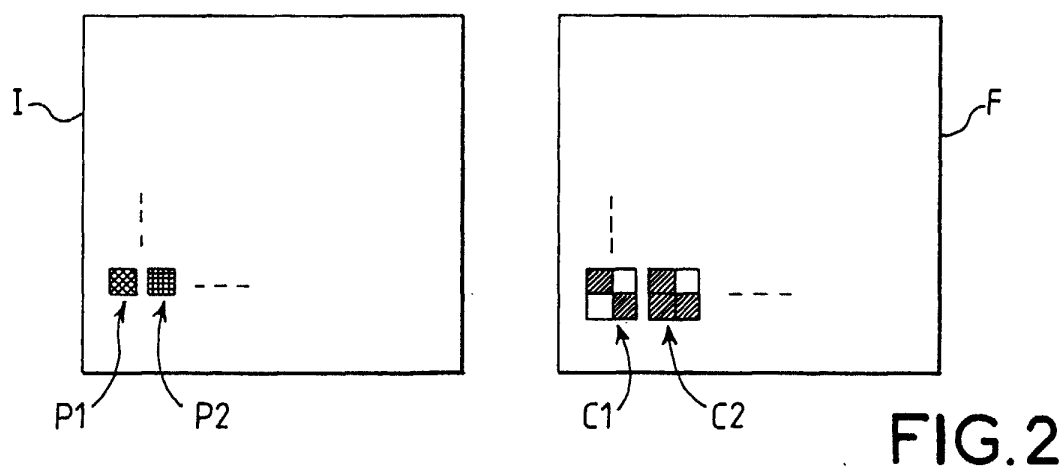
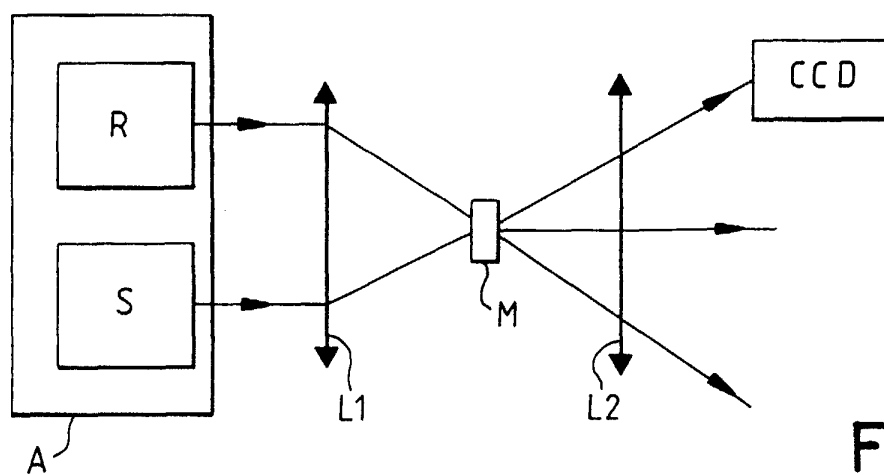
35

40

45

50

55





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 99 40 2707

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
Y	US 5 040 140 A (HORNER JOSEPH L) 13 août 1991 (1991-08-13) * colonne 3, ligne 48 - colonne 6, ligne 69; revendication 9; figure 2 *	1,2,5,10	G06E3/00
Y	STOFFEL J C ET AL: "A SURVEY OF ELECTRONIC TECHNIQUES FOR PICTORIAL IMAGE REPRODUCTION" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, vol. 29, no. 12, 1 décembre 1981 (1981-12-01), pages 1898-1925, XP000560531 * page 6, colonne de droite, alinéa 1 - page 7, colonne de gauche, alinéa 2; figures 1,10,11 *	1,2,5,10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
			G06E H04N
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 7 janvier 2000	Examineur Ledrut, P
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 99 40 2707

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

Lesdits members sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

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

07-01-2000

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5040140 A	13-08-1991	AUCUN	

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82