(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 590 701**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **85 17303**

(51) Int Cl⁴ : G 06 F 15/70.

# (12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 22 novembre 1985.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** BOPI « Brevets » n° 22 du 29 mai 1987.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE ET DE PHYSIQUE APPLIQUEE L.E.P., Société anonyme.* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Mohammad Rèza Haghiri.

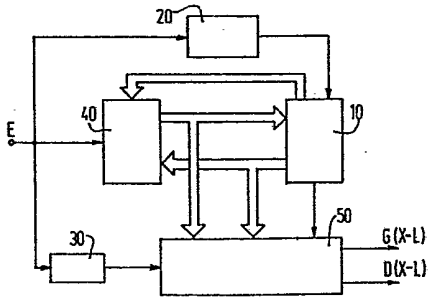
(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire(s) :** Christian Landousy.

## (54) Procédé et dispositif d'estimation de mouvement dans une séquence d'images.

(57) Procédé et dispositif d'estimation de mouvement dans une séquence d'images, consistant à A. prévoir par rapport à l'image courante la sauvegarde de l'image précédente, B. définir trois groupes de classification en points fixes, mobiles et découverts, dans lesquels les points vont, avec un retard de L points, être classés au fur et à mesure du balayage de l'image, C. construire un arbre de classification dont les 3L branches correspondent aux séquences des groupes possibles pour L points successifs de la séquence d'images, D. associer à chaque branche *a* un vecteur de déplacement représentatif du déplacement éventuel du point par rapport à l'image ou la ligne précédente et *b* une distorsion cumulée représentative de la somme cumulée des erreurs de classification des points précédents, et E. au terme de cette procédure portant sur L points, prendre une décision quant au groupe et au vecteur du point situé L points plus tôt.

Application : compression d'informations à transmettre ou enregistrer.




FR 2 590 701 - A1

# PROCEDE ET DISPOSITIF D'ESTIMATION DE MOUVEMENT DANS UNE SEQUENCE D'IMAGES

La présente invention concerne un procédé et un dispositif d'estimation de mouvement dans une séquence d'images. Une telle invention est applicable essentiellement dans le domaine du traitement de signal numérique, pour la réalisation de fonctions telles que compression d'information, amélioration de qualité d'images, poursuite de cibles, etc... et, par exemple, dans des dispositifs de codage d'images numériques, pour la réduction du débit des informations à transmettre, ou à enregistrer lorsqu'il s'agit par exemple de magnétoscopes.

L'article de A.N. Netravali et J.D. Robbins, "Motion-Compensated Television coding : Part I", paru dans la revue "The Bell System Technical Journal", volume 58, n°3, mars 1979, décrit un procédé d'estimation de mouvements qui prévoit essentiellement d'opérer une classification des éléments d'image en éléments fixes et en éléments mobiles, et d'estimer les mouvements à l'aide d'une méthode de prédiction adaptative utilisant des éléments d'une image précédente pour les comparer, en position et en luminosité, à ceux de l'image courante. Ce procédé présente cependant de notables inconvénients. D'une part, en ce qui concerne le mouvement, il ne tient pas compte de la corrélation entre points voisins. Par ailleurs, dans le classement opéré, on n'examine pas l'influence de la classification relative à des points d'image déterminés sur celle des points suivants.

Le but de l'invention est de proposer un procédé d'estimation de mouvement dans une séquence d'images remédiant à de tels inconvénients.

L'invention concerne à cet effet un procédé remarquable en ce que, la luminosité de chaque point étant exprimée

de façon numérique et chacun de ces points étant défini par deux coordonnées (m,n) indiquant respectivement le rang de la ligne de l'image où se trouve le point et le rang du point sur cette m-ième ligne, il consiste à :

(A) prévoir par rapport à l'image courante la sauvegarde de l'image précédente pour constituer une image de référence ;

(B) définir pour les points trois groupes de classification en points fixes, en points mobiles et en points dits découverts, groupes dans lesquels les points vont, avec un retard de L points, être classés au fur et à mesure du balayage de l'image, en examinant un nombre déterminé de séquences de groupes possibles pour les L points qui suivent le point courant X considéré et selon un critère de classification déterminé ;

(C) construire un arbre de classification dont les $3^L$ branches, à chaque niveau successif, sont en nombre égal à celui des groupes possibles et correspondent, du premier au L-ième niveau, aux séquences des groupes possibles pour les L points successifs considérés de la séquence d'images ;

(D) associer à chaque branche de chaque niveau deux paramètres :

(a) un premier paramètre dit vecteur de déplacement, représentatif du déplacement éventuel du point par rapport à l'image ou à la ligne précédente et déterminé à l'aide d'une méthode récursive d'estimation de déplacement ;

(b) un deuxième paramètre dit distorsion cumulée, représentatif de la somme cumulée des erreurs de classification des points précédents, les groupes de ces points étant ceux des branches de l'arbre parcourues pour arriver à la branche courante ;

(E) au terme de cette procédure portant sur L points, prendre une décision de type majoritaire quant au groupe effectif et au vecteur de déplacement du point situé par rapport au point courant L points plus tôt.

Le procédé ainsi proposé est avantageux en ce sens qu'on propose une classification différente, plus précise, des points d'image, faisant intervenir une catégorie dite de points découverts qui permet la réinitialisation du procédé d'estimation de mouvement à l'emplacement des contours des objets en mouvement. D'autre part, on tient compte de la corrélation éventuelle entre points en attendant l'arrivée d'un nombre déterminé d'éléments binaires pour prendre une décision sur la classe d'un point.

De préférence, dans le procédé ainsi proposé, le critère de classification est, pour les points fixes et mobiles, la différence de luminosité entre deux images successives, en tenant compte du déplacement des points d'une image à l'autre pour les points mobiles, et, pour les points découverts, la différence de luminosité entre deux lignes adjacentes, l'erreur de classification étant de préférence rendue minimale en tenant compte de l'influence d'un déplacement estimé pour un point sur le déplacement estimé pour les L points suivants.

Afin de limiter la complexité de mise en oeuvre du procédé cette influence n'est en général examinée, parmi les $3^L$ branches possibles de l'arbre, que pour M branches de plus faible distorsion cumulée, dites survivantes, M étant un nombre limite choisi nettement inférieur au nombre maximal de branches.

Enfin, de façon particulièrement avantageuse, la décision de type majoritaire est prise en examinant les branches survivantes et en classant chaque point situé L points plus tôt dans le groupe auquel correspond le plus grand nombre de ces branches survivantes, le vecteur de déplacement correspondant étant alors considéré comme le déplacement de ce point situé L points plus tôt, et ladite procédure de décision étant répétée à l'identique sauf pour les L derniers points de la séquence d'images où l'on évite de prendre une décision.

L'invention concerne également, pour la mise en

oeuvre de ce procédé, un dispositif d'estimation de mouvement dans une séquence d'images remarquable en ce qu'il comprend une mémoire d'image recevant de la connexion d'entrée, par l'intermédiaire d'un circuit à retard d'image, la séquence d'images numérisée, un circuit à retard de ligne recevant également la séquence d'images numérisée, et un estimateur récursif de déplacement, recevant également la séquence d'images numérisée pour actualiser à chaque extension de l'arbre de classification les vecteurs de déplacements relatifs aux noeuds de l'arbre et les envoyer vers un circuit de décision à retardement, lesdits vecteurs étant également envoyés vers la mémoire d'image qui renvoie audit estimateur et audit circuit de décision la luminosité des points homologues du point courant X dans l'image précédente.

Les particularités et avantages de l'invention apparaîtront maintenant de façon plus détaillée dans la description qui suit et dans les dessins annexés, donnés à titre d'exemple et dans lesquels :

- la figure 1 montre un exemple d'arbre de classification des points d'une images, dans lequel on opère pour chaque point une distinction entre son appartenance possible à un premier groupe de points fixes, à un deuxième groupe de points mobiles, ou à un troisième groupe dit de points découverts ;

- la figure 2 montre un exemple de réalisation d'un dispositif d'estimation conforme à l'invention ;

- la figure 3 montre un exemple de réalisation de l'estimateur récursif de déplacement prévu dans le dispositif de la figure 2 ;

- la figure 4 montre les quatre points A,B, C, D sur la luminosité desquels on opère pour déterminer celle du point X-DEPi ;

- la figure 5 montre un exemple de réalisation du circuit de décision à retardement prévu dans le dispositif de la figure 2 ;

- la figure 6 montre un exemple de réalisation du circuit de sauvegarde et de mise à jour prévu dans le circuit de la figure 5.

Dans de nombreuses applications, et notamment dans celle mentionnée plus haut, on est amené à traiter des séquences d'images numérisées et, plus particulièrement, à détecter l'existence de mouvements d'une image à la suivante. Le procédé et le dispositif d'estimation de mouvement qui vont être décrits reposent sur une méthode récursive d'estimation de déplacement, avec décision à retardement afin d'initialiser l'estimateur et améliorer ses performances. On supposera que, pour chacune des images successives, la valeur de la luminance de chaque point d'une image est numérisée et que chacun de ces points est défini par deux coordonnées (m,n), m étant le rang de la ligne de l'image et n le rang du point sur cette m-ième ligne.

Selon l'invention, au fur et à mesure du balayage de l'image les points de celle-ci sont classés, avec un retard de L points, dans l'un des trois groupes suivants :

(a) groupe des points fixes ;

(b) groupe des points en mouvement ;

(c) groupe des points découverts.

Le sens précis de cette classification sera explicité plus loin. On verra également que ladite classification s'effectue pour chaque point en examinant un nombre déterminé de séquences de groupes possibles pour les L points qui suivent le point considéré.

Egalement selon l'invention, à chaque point considéré est associé un vecteur dit de déplacement dont la direction et l'amplitude vont être corrigées d'un point au suivant en fonction du groupe d'un ou de plusieurs points précédents et de l'erreur de classification commise pour ce ou ces points. Cette erreur n'est pas définie de façon identique pour les trois groupes : pour les deux premiers groupes mentionnés, elle est égale à la différence de luminosité du point et de

son point homologue dans l'image précédente compte tenu du déplacement qui a eu lieu par rapport à cette image précédente, tandis que pour les points du troisième groupe l'erreur d'estimation est déterminée par la variation de luminosité de l'image courante dans la direction verticale, c'est-à-dire d'une ligne à l'autre.

La classification opérée précédemment repose sur les considérations suivantes. Lorsqu'un objet se déplace dans une image, trois types de points peuvent être distingués :

(a) les points qui se situent dans la partie fixe de l'image, ce sont les points fixes ;

(b) les points qui sont visibles dans deux images successives mais à des emplacements différents, ce sont les points en mouvement ;

(c) les points qui sont devenus visibles après le déplacement de l'objet, ce sont les points qualifiés de découverts. Ces points découverts, qui ne correspondent pas à un point de l'image précédente, possèdent une corrélation spatiale plus forte, leur intensité lumineuse, par exemple, est plus proche de celle de la ligne précédente.

De cette répartition en trois catégories de points, on déduit alors le critère objectif de classification qui sera ici adopté, à savoir pour les deux premiers types de points la différence de luminosité entre deux images successives, en tenant compte du déplacement des points pour les points en mouvement, et pour le troisième type de points la différence de luminosité entre deux lignes adjacentes.

Pour être efficace, la méthode récursive d'estimation de déplacement proposée doit donc distinguer les trois types de points définis et interagir ensuite de façon appropriée. L'initialisation du processus d'estimation doit permettre de retrouver ultérieurement le déplacement de l'objet en commençant par une estimation nulle pour les points traçant le contour de l'objet en mouvement, c'est-à-dire en ne prévoyant pas de vecteur de déplacement, à l'initialisation, pour les

points formant ce contour. De tels points doivent donc être classés dans la troisième catégorie de points, celle des points découverts.

Ayant défini un critère de classification, il est également prévu, dans le cadre de l'invention, de minimiser l'erreur de classification due au caractère non optimal de ce critère en examinant, dans une certaine limite par souci de simplicité, l'influence d'un déplacement estimé pour un point sur le déplacement estimé pour les L points suivants. Cette influence peut être observée en construisant à cet effet un arbre de classification dont les branches successives correspondent aux trois groupes possibles auxquels sont supposés appartenir L points successifs (dans le sens du balayage) de l'image. Un tel arbre comprend théoriquement $3^L$ branches, mais par souci de simplicité du dispositif, on a vu qu'on limiterait le nombre des branches observées, appelées par la suite branches survivantes.

La procédure de construction simplifiée de l'arbre de classification est donc la suivante, en précisant qu'on appellera noeud l'intersection de plusieurs branches et qu'un tel arbre comprendra L niveaux correspondant chacun à un point de l'image. Si l'on part du premier point de l'image, celui-ci peut a priori appartenir à l'un des trois groupes définis (le groupe des points fixes, celui des points mobiles, celui des points découverts). Dans l'arbre de classification représenté sur la figure 1, trois branches relatives à ces trois groupes sont alors créées et, à chaque branche, sont associés deux paramètres.

Le premier de ces paramètres est le vecteur de déplacement noté D (niveau de l'arbre ; groupe possible), le niveau étant compris entre 0 et L, et le groupe étant représenté par f, m ou d (groupe des points fixes, mobiles, découverts, respectivement). Pour les deux premiers groupes de points, ce vecteur de déplacement dépend de celui qui était associé au noeud précédent (en l'occurrence le noeud zéro pour le premier

des L points considérés) et est, par rapport à ce vecteur précédent, réactualisé d'une erreur d'estimation D, à distinguer de l'erreur de classification. Pour le troisième groupe, le vecteur de déplacement est simplement égal à ladite erreur d'estimation, ce qui sous-entend dans ce cas l'initialisation de l'estimateur de mouvement (puisqu'il n'y a pas de vecteur de déplacement précédent) et donc, dans le principe même de la méthode, l'existence d'une rupture du caractère récursif de l'estimation. L'erreur d'estimation est elle-même proportionnelle au produit de la variation spatiale de luminosité du point homologue compte tenu du déplacement dans l'image précédente et de la différence de luminosité entre le point courant et son homologue dans l'image précédente.

Le second de ces paramètres est la distorsion cumulée, notée dist (niveau de l'arbre, groupe possible) comme précédemment. On appelle ainsi, dans la présente description, la somme cumulée des erreurs de classification des points précédents élevées au carré, les groupes de ces points étant ceux des branches parcourues dans l'arbre de classification pour arriver à la branche courante. Sur la figure 1, à chaque branche sont bien entendu associés, à chaque fois un vecteur D(.,.) et une distorsion dist (.,.), mais ces indications n'ont pas été toutes reproduites dès que les subdivisions de l'arbre deviennent nombreuses, afin de ne pas surcharger la figure.

Si l'on prend un exemple, pour le premier point de la séquence d'images traitée, cette distorsion est égale à l'erreur, élevée au carrée, des branches des premiers niveaux de l'arbre. A l'arrivée du deuxième point de l'image, trois branches sont construites dans l'arbre, à l'extrémité de chaque branche du niveau précédent, et les nouveaux paramètres correspondants (vecteur de déplacement, distorsion cumulée) sont calculés. Cette procédure est répétée pour chaque nouveau point de l'image et le nombre des branches est multiplié par trois, du moins tant que ce nombre global reste inférieur à

une limite M du nombre de branches autorisées, nettement inférieure au nombre de branches maximal possible pour chaque point. Cette limite est fixée afin de limiter la complexité du dispositif. Dès que ce nombre est dépassé, on ne retient en fait, dans la construction de l'arbre, que les M branches de plus faible distorsion, les branches dites survivantes, alors que les $3^L$ - M autres branches sont éliminées, par exemple en imposant à leur distorsion une valeur infinie.

Une telle procédure est poursuivie jusqu'au Lième point de l'image. Après avoir, au terme de cette procédure, retenu les M branches de plus faible distorsion, une décision de type majoritaire est prise quant au groupe effectif et au vecteur de déplacement du premier point de l'image. Cette décision est bien à retardement puisque l'on a attendu d'être informé sur L points d'image supplémentaires avant de prendre ladite décision sur le point considéré précédant ces L points. La décision est prise de la manière suivante : en examinant les branches survivantes, le premier point est classé dans le groupe auquel correspond le plus grand nombre de ces branches survivantes, et le vecteur de déplacement correspondant est alors considéré comme étant le déplacement du premier point, et ainsi de suite... A partir du L-ième point, le procédé permet la détermination, à l'arrivée de chaque nouveau point, d'un groupe et d'un vecteur de déplacement qui correspondent au point précédant ce nouveau point de L points. Pour les L derniers points de l'image, ou plutôt de la séquence d'images quand on a choisi de traiter effectivement toute une séquence (par exemple 25 images en une seconde si l'on a choisi de traiter une seconde d'images), on évite simplement de prendre une décision majoritaire.

La figure 2 montre un exemple de réalisation d'un dispositif d'estimation permettant la mise en oeuvre de l'ensemble de cette procédure. Le dispositif représenté comprend une connexion d'entrée E sur laquelle se présentent les échantillons numériques constituant l'image d'entrée (par exemple à

une fréquence d'échantillonnage égale à 13,5 mégahertz dans le cas d'une image vidéo). L'image d'entrée est envoyée d'une part vers une mémoire d'image 10, à laquelle est confié le rôle de sauvegarde de l'image précédente pendant le traitement de l'image courante. Un circuit à retard d'image 20 est donc placé entre la connexion E et l'entrée de la mémoire d'image 10. L'image d'entrée est d'autre part envoyée vers un circuit à retard de ligne 30, qui permet d'accéder au point courant de la ligne précédente de l'image courante (dans le cas des points découverts du troisième groupe). L'image d'entrée est enfin envoyée vers un estimateur récursif de déplacement 40 qui actualise à chaque extension de l'arbre de classification les vecteurs de déplacement relatifs aux noeuds de l'arbre. Ces vecteurs de déplacement sont alors envoyés, en nombre M, vers un circuit de décision à retardement 50 qui en choisit le meilleur, selon le processus de décision majoritaire mentionné plus haut, comme étant l'estimation de déplacement du point considéré, ce circuit 50 déterminant donc un groupe et un vecteur de déplacement par point de séquence d'images, mais cette décision intervenant avec L points de retard. La mémoire d'image 10 destinée à permettre d'accéder aux points de l'image précédente en tenant compte du vecteur de déplacement reçoit en provenance de l'estimateur récursif de déplacement 40 les M vecteurs de déplacement (les mêmes que ceux envoyés vers le circuit 50) concernant les M noeuds successifs de l'arbre de classification et lui fournit une période d'échantillonnage plus tard, après un adressage indirect, la luminosité des points homologues du nouveau point courant X, la désignation X symbolisant les coordonnées m, n du point c'est-à-dire des points X-DEP1, X-DEP-2, ..., X-DEPM de l'image précédente. La mémoire 10 fournit également au circuit 50 cette luminosité desdits points homologues.

La figure 3 donne un exemple de réalisation de l'estimateur récursif de déplacement 40. Cet estimateur 40 comprend M circuits similaires opérant chacun sur une des M

sorties de la mémoire d'image 10, et l'on ne décrira donc que l'un de ces circuits, composé des éléments 401i à 415i (i variant de 1 à M). Un soustracteur 401i reçoit d'une part sur son entrée par exemple positive l'image d'entrée présente sur la connexion d'entrée E et d'autre part sur son entrée négative la sortie de la mémoire d'image 10, c'est-à-dire la i-ième luminosité, et délivre comme signal de différence la différence de luminosité entre le point courant X et le point homologue X-DEPi de l'image précédente. Ce signal de sortie du soustracteur 401i est envoyé vers deux multiplieurs 402i et 412i qui en effectuent le produit par le gradient spatial de la luminosité au point X-DEPi, lui-même délivré sous forme vectorielle (gradient dans la direction m, gradient dans la direction n) par un circuit de gradient 403i qui opère sur la luminosité des points voisins A, B, C, D du point X-DEPi lue dans la mémoire d'image 10. La figure 4 montre ces quatre points A, B, C, D entourant le point X-DEPi dans l'image précédente, et ledit gradient spatial est donné par l'expression :

$$\text{grad}(X\text{-DEPi}) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} A - B \\ C - D \end{bmatrix}$$

Le signal vectoriel de sortie des multiplieurs, qui est l'erreur d'estimation comme on l'a précisé plus haut, est alors traité par deux filtres récursifs sans pondération comprenant respectivement un soustracteur 404i et 414i et un circuit de retard d'un point 405i et 415i. Le circuit 405i (ou 415i) reçoit la sortie du soustracteur 404i (ou 414i) et la réintroduit retardée sur l'entrée négative de ce dernier, dont l'entrée positive reçoit ladite erreur d'estimation et délivre le nouveau vecteur de déplacement associé au point courant X considéré.

Les vecteurs DEP1, DEP2, ..., DEPM ainsi réactualisés sont envoyés d'une part, pour adressage, vers la mémoire d'image 10, où ils prennent la place des précédents, et d'autre part vers le circuit de décision à retardement 50, représenté sur la figure 5 dans un mode particulier de réalisation

conforme à l'invention. Ce circuit 50 comprend tout d'abord (M+2) circuits soustracteurs 501, 502, et 50(1) à 50(M) qui calculent les erreurs de classification, par évaluation de la différence de luminosité entre les points de l'image précédente et les points de l'image courante, sauf pour le soustracteur 502 où cette différence est évaluée entre les points de la ligne précédente et ceux de la ligne courante ; les chiffres entre parenthèses désignent dans les références 50(1) à 50(M) les noeuds de l'arbre de classification. Les valeurs ainsi obtenues sont alors élevées au carré dans les (M+2) circuits 511, 512, et 51(1) à 51(M). La sortie de ces circuits d'élévation au carré est envoyée vers 3M premiers additionneurs 521(1) à 521(M), 522(1) à 522(M), 523(1) à 523(M)de la façon suivante : 511 vers 521(1) à 521(M), 512 vers 522(1) à 522(M), 51(1) à 51(M) vers 523(1) à 523(M) respectivement. Les 3M additionneurs reçoivent sur leur autre entrée les distorsions des noeuds présentes en sortie de M circuits à retard 54(1) à 54(M) eux-mêmes précédés de M additionneurs 53(1) à 53(M). Le rôle de ces additionneurs et circuits à retard est précisé ci-dessous.

Les signaux de sortie des 3M premiers additionneurs représentent alors les distorsions cumulées des 3M branches, avant élimination de 2M branches de plus forte distorsion, et sont envoyés vers le circuit de tri 590. Ce dernier est chargé de trier, parmi ces 3M signaux reçus, ceux qui représentent les M plus faibles valeurs de distorsion cumulée et de les envoyer vers les premières entrées respectives de M additionneurs 53(1) à 53(M), et de délivrer en plus de ces M valeurs de distorsion et en correspondance à chacune d'elles un indice correspondant au classement qu'elles ont à l'entrée du circuit de tri.

Ces M indices sont ensuite utilisés par un circuit 600 de sauvegarde et de mise à jour de l'arbre de classification. Ce circuit 600, représenté dans un mode particulier de réalisation sur la figure 6, comprend dans le cas présent un

circuit décodeur 601 qui extrait les deux informations de numéro de branche (dont on déduit le groupe) et de numéro de noeud, par exemple à l'aide d'une mémoire ROM (mémoire morte ne pouvant qu'être lue ; en anglais Read-Only Memory) programmée de façon à fournir pour chaque adresse comprise entre 1 et 3M un quotient et un reste calculés comme indiqué ci-après : après avoir majoré chaque indice de 2 et divisé chaque indice (ainsi majoré) par trois, on en déduit (a) le quotient, qui indique le numéro de noeud (entre 1 et M) du dernier niveau de l'arbre de classification et (b) le reste, qui est égal à 1/3, 0, ou 2/3, valeurs auxquelles on fait correspondre respectivement le groupe de la branche à laquelle est associée la distorsion, c'est-à-dire le premier groupe des points fixes, le deuxième groupe des points mobiles, ou le troisième groupe des points découverts.

Le circuit de sauvegarde et de mise à jour comprend également 2M registres principaux 602(1), 602(2),..., 602(M), 603(1), 603(2),..., 603(M), et 2M registres auxiliaires 612(1), 612(2),..., 612(M), 613(1), 613(2),..., 613(M). Ces 4M registres à décalage contiennent chacun L cases destinées à L mots relatifs à la longueur (c'est-à-dire au nombre de niveaux) de l'arbre de classification. Les premiers de ces registres (c'est-à-dire les 2M registres principaux) mémorisent les informations qui concernent le niveau le plus récent (c'est-à-dire le point courant X de l'image) et ainsi de suite. Les M registres principaux 602(1) à 602(M) et les M registres auxiliaires 612(1) à 612(M) mémorisent les vecteurs de déplacement pour les L niveaux successifs de l'arbre de classification, tandis que les M registres principaux 603(1) à 603(M) et les M registres auxiliaires 613(1) à 613(M) mémorisent de même pour les L niveaux successifs les informations de groupe des branches survivantes. Le contenu de ces registres permet de reconfigurer l'arbre de classification de telle sorte que les noeuds soient rangés dans l'ordre décroissant de leur distorsion, cette reconfiguration étant opérée comme on

va l'expliquer plus en détail.

Sur la figure 6, on peut voir, d'une part entre le multiplexeur 621 et les registres principaux 602(1) à 602(M) et d'autre part entre les registres auxiliaires 612 (1) à 612 (M) et ce même multiplexeur, M connexions de transfert respectives, se distinguant des autres tracés de la figure en ce qu'elles sont représentées chacune par une flèche épaissie. Bien entendu, M connexions similaires, qui devraient être représentées de façon rigoureusement identique aux M connexions ci-dessus, existent également d'une part entre le multiplexeur 622 et les registres principaux 603(1) à 603(M) et d'autre part entre les registres auxiliaires 613(1) à 613(M) et ce multiplexeur, pour permettre la réalisation des mêmes fonctions de mémorisation, sauvegarde, mise à jour que celle autorisées par la présence des M premières connexions. Pour simplifier la lecture et la compréhension de cette figure 6, on a cependant volontairement omis de représenter ces M nouvelles connexions de liaison entre les éléments 622, 603(1) à 603(M) et 613(1) à 613 (M), et, au lieu de représenter en traits continus lesdits éléments, ils l'ont été en traits interrompus de même que les M connexions conduisant du décodeur 601 aux registres 603(1) à 603(M), les M x L connexions conduisant des registres 603(1) à 603(M) aux registres 613(1) à 613(M), et les M connexions conduisant des registres 613(1) à 613(M) au circuit de décision majoritaire 630.

Pour la reconfiguration, dans un premier temps, les contenus des 2M registres principaux 602(1) à 602(M) et 603(1) à 603(M) sont transférés respectivement dans les 2M registres auxiliaires 612(1) à 612(M) et 613(1) à 613(M) destinés à sauvegarder l'arbre de classification avant sa réorganisation. Ce transfert rend les 2M registres principaux prêts à recevoir la nouvelle configuration de l'arbre de classification, sans que soit pour autant perdue l'ancienne. Dans un deuxième temps, les contenus des 2M registres auxiliaires 612(1) à 612(M) et 613(1) à 613(M) sont renvoyés

par l'intermédiaire des multiplexeurs 621 et 622 (621 pour les vecteurs de déplacement, 622 pour les informations de groupe) vers les 2M registres principaux 602(1) à 602(M) et 603(1) à 603(M), afin de ranger lesdits contenus dans les registres principaux dans l'ordre décroissant des distorsions associées. Les registres principaux 602(K) et 603(K), par exemple, contiennent, après de telles opérations de transfert, respectivement les vecteurs de déplacement et les groupes de la branche d'arbre dont la distorsion est la K-ième dans l'ordre décroissant de celles-ci.

Pour introduire les informations du niveau X concernant le point courant X, les deux opérations suivantes sont en fait nécessaires :

(a) les premiers mots des M registres principaux 603(1) à 603(M) sont chargés par le numéro de groupe des branches de niveau X (niveau relatif au point courant X) qui lui-même provient du circuit décodeur 601, celui-ci ayant en effet fourni le reste de la division par 3 des numéros des M noeuds de plus faible distorsion ;

(b) les vecteurs de déplacement DEP1, DEP2,..., DEP(M) provenant du circuit 40 par l'intermédiaire d'un circuit de multiplexage 620 sont sauvegardés dans les premiers mots des M registres principaux 602(1) à 602(M) si les branches correspondantes sont associées au groupe des points fixes ou au groupe des points en mouvement, ces mots étant mis à zéro dans le cas contraire (initialisation).

Une décision à retardement va alors être prise par le circuit de décision majoritaire 630. Ce circuit examine en effet les L-ièmes mots des M registres principaux 603(1) à 603(M) et détermine le groupe dont le nombre d'occurrence est le plus grand (c'est-à-dire le groupe qui revient le plus souvent). Si c'est alors le registre 603(K), par exemple, qui mémorise ce groupe, les contenus du L-ième mot des registres principaux 603(K) et 602(K) sont considérés comme étant respectivement le groupe G(X-L) et le vecteur de déplacement

D(X-L) du point X-L. Ce sont ces deux informations qui sont fournies en sortie du circuit de décision majoritaire 630, c'est-à-dire, en fait, en sortie du circuit 50 comme l'indique la figure 2. Afin d'éliminer les branches qui ne conduisent pas à ce groupe pour le point X-L de l'image, lorsque le contenu du L-ième mot diffère du groupe décidé (lui-même indiqué dans le L-ième mot du registre 603 (K)) on donne à la distorsion cumulée une valeur infinie, ou tout au moins très grande, par exemple par addition d'une valeur supérieure à la luminosité maximale de l'image numérisée.

Des signaux 615(1) à 615(M) de sortie du circuit 600, qui sont égaux à la luminosité maximale pour des branches à effacer et nuls pour les autres, sont envoyés vers les deuxièmes entrées respectives des M additionneurs 53(1) à 53(M) suivis des circuits à retards 54(1) à 54(M) respectivement. Ces circuits à retards retardent d'une période d'échantillonnage les signaux qui les traversent. La décision finale étant maintenant prise, les mots des 2M registres principaux 602(1) à 602(M) et 603(1) à 603(M) sont décalés vers le bas, et ces registres sont prêts pour une nouvelle opération de décision à retard, chaque décision étant bien entendu suivie d'un décalage d'une unité des registres principaux et auxiliaires.

REVENDICATIONS :

1. Procédé d'estimation de mouvement dans une séquence d'images dans laquelle, la luminosité de chaque point étant exprimée de façon numérique, chacun de ces points est défini par deux coordonnées (m,n) indiquant respectivement le rang de la ligne de l'image où se trouve le point et le rang du point sur cette m-ième ligne, caractérisé en ce qu'il consiste à :

(A) prévoir par rapport à l'image courante la sauvegarde de l'image précédente pour constituer une image de référence ;

(B) définir pour les points trois groupes de classification en points fixes, en points mobiles et en points dits découverts, groupes dans lesquels les points vont, avec un retard de L points, être classés au fur et à mesure du balayage de l'image, en examinant un nombre déterminé de séquences de groupes possibles pour les L points qui suivent le point courant X considéré et selon un critère de classification déterminé ;

(C) construire un arbre de classification dont les $3^L$ branches, à chaque niveau successif, sont en nombre égal à celui des groupes possibles et correspondent, du premier au L-ième niveau, aux séquences des groupes possibles pour les L points successifs considérés de la séquence d'images ;

(D) associer à chaque branche de chaque niveau deux paramètres :

(a) un premier paramètre dit vecteur de déplacement, représentatif du déplacement éventuel du point par rapport à l'image ou à la ligne précédente et déterminé à l'aide d'une méthode récursive d'estimation de déplacement ;

(b) un deuxième paramètre dit distorsion cumulée, représentatif de la somme cumulée des erreurs de classification des points précédents, les groupes de ces points étant ceux des branches de l'arbre parcourues pour arriver à la branche courante ;

(E) au terme de cette procédure portant sur L points, prendre une décision de type majoritaire quant au groupe effectif et au vecteur de déplacement du point situé par rapport au point courant L points plus tôt.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le critère de classification est, pour les points fixes et mobiles, la différence de luminosité entre deux images successives, en tenant compte du déplacement des points d'une image à l'autre pour les points mobiles, et, pour les points découverts, la différence de luminosité entre deux lignes adjacentes.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'erreur de classification est rendue minimale en tenant compte de l'influence d'un déplacement estimé pour un point sur le déplacement estimé pour les L points suivants.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que cette influence n'est examinée, parmi les $3^L$ branches possibles de l'arbre, que pour M branches de plus faible distorsion cumulée, dites survivantes, M étant un nombre limite choisi nettement inférieur au nombre maximal de branches 3L.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la décision de type majoritaire est prise en examinant les branches survivantes et en classant chaque point situé L points plus tôt dans le groupe auquel correspond le plus grand nombre de ces branches survivantes, le vecteur de déplacement correspondant étant alors considéré comme le déplacement de ce point situé L points plus tôt, ladite procédure de décision étant répétée à l'identique sauf pour les L derniers points de la séquence d'images où l'on évite de prendre une décision.

6. Dispositif d'estimation de mouvement dans une séquence d'images, prévu pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 5 et caractérisé en ce qu'il comprend une mémoire d'image recevant de la connexion d'entrée, par l'intermédiaire d'un circuit à retard d'image, la séquence d'images numérisée, un circuit à retard de ligne recevant également la

séquence d'images numérisée, et un estimateur récursif de déplacement, recevant également la séquence d'images numérisée pour actualiser à chaque extension de l'arbre de classification les vecteurs de déplacements relatifs aux noeuds de l'arbre et les envoyer vers un circuit de décision à retardement, lesdits vecteurs étant également envoyés vers la mémoire d'image qui renvoie audit estimateur et audit circuit de décision la luminosité des points homologues du point courant X dans l'image précédente.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le circuit de décision à retardement comprend :

(A) (M+2) circuits soustracteurs dont le premier et les M derniers calculent les erreurs de classification par évaluation de la différence de luminosité entre les points de l'image précédente et ceux de l'image courante, le deuxième soustracteur calculant cette erreur par évaluation de cette différence entre les points de la ligne précédente et ceux de la ligne courante ;

(B) (M+2) circuits d'élévation au carré de la sortie des soustracteurs ;

(C) 3 M additionneurs dont les signaux de sortie représentent les distorsions cumulées des 3M branches de l'arbre de classification ;

(D) un circuit de tri recevant ces 3M signaux de sortie et délivrant parmi ceux-ci ceux qui représentent les M plus faibles valeurs de distorsion cumulée, ces M signaux sélectionnés étant accompagnés d'un indice correspondant au classement qu'ont ces signaux à l'entrée du circuit de tri ;

(E) un circuit de sauvegarde et de mise à jour de l'arbre de classification recevant d'une part lesdits M indices sélectionnés et d'autre part les vecteurs de déplacement pour les L niveaux successifs de l'arbre de classification et délivrant, pour le point précédant de L points le point courant X, les informations relatives à son groupe et à son vecteur de déplacement.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que le circuit de sauvegarde et de mise à jour comprend :

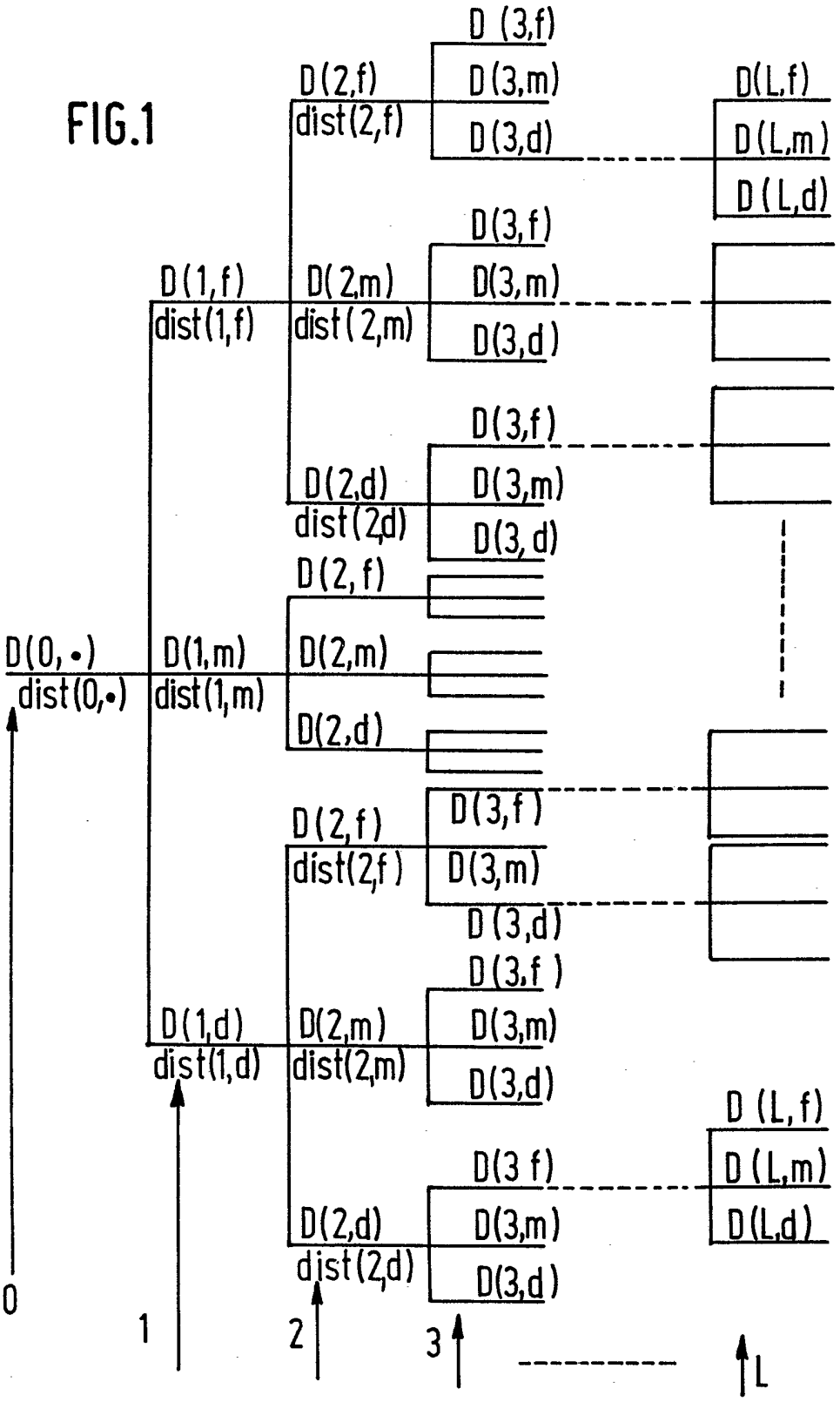
(A) un premier jeu de M registres principaux et de M registres auxiliaires tous de L cases, respectivement prévus les premiers pour la mémorisation des vecteurs de déplacement provenant de l'estimateur récursif de déplacement par l'intermédiaire d'un circuit de multiplexage et les seconds pour la sauvegarde, avant réorganisation, de ces vecteurs et le retour de ceux-ci, après réorganisation dans l'ordre décroissant des distorsions, vers lesdits registres principaux par l'intermédiaire d'un premier multiplexeur ;

(B) un deuxième jeu de M registres principaux et de M registres auxiliaires, tous de L cases, respectivement prévus, de même, les premiers pour la mémorisation des informations de groupe des branches survivantes, provenant du circuit de tri par l'intermédiaire d'un décodeur, pour les L niveaux successifs, et les seconds pour la sauvegarde, avant réorganisation, de ces informations de groupe et le retour de celles-ci, après réorganisation dans l'ordre décroissant des distorsions, vers lesdits registres principaux par l'intermédiaire d'un deuxième multiplexeur ;

(C) un circuit de décision majoritaire destiné à recevoir les contenus des L-ièmes mots des registres et à déterminer le groupe dont le nombre d'occurrence est le plus grand, le contenu de celui des registres qui mémorise ce groupe étant alors considéré comme le groupe G(X-L) du point précédant de L points le point courant X, et le vecteur de déplacement contenu dans le registre principal correspondant étant considéré de même comme le vecteur de déplacement D(X-L) dudit point précédant de L points le point courant X, et chacune des décisions prise par ledit circuit de décision majoritaire étant suivie d'un décalage d'une unité des registres principaux et auxiliaires.

2590701

FIG.1



2590701

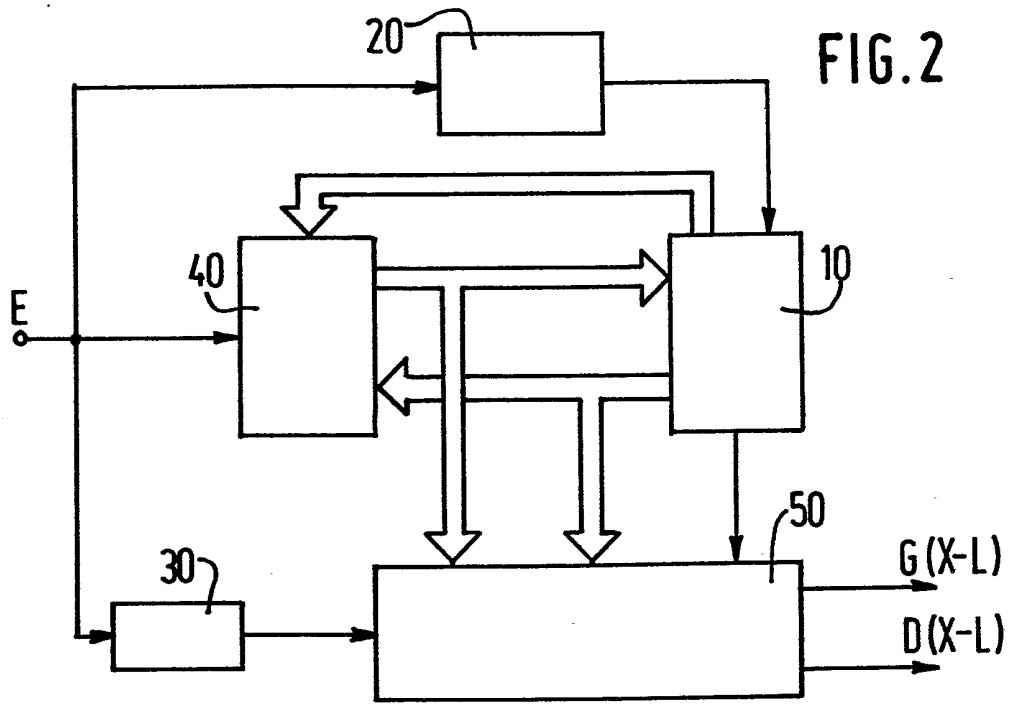



FIG.2

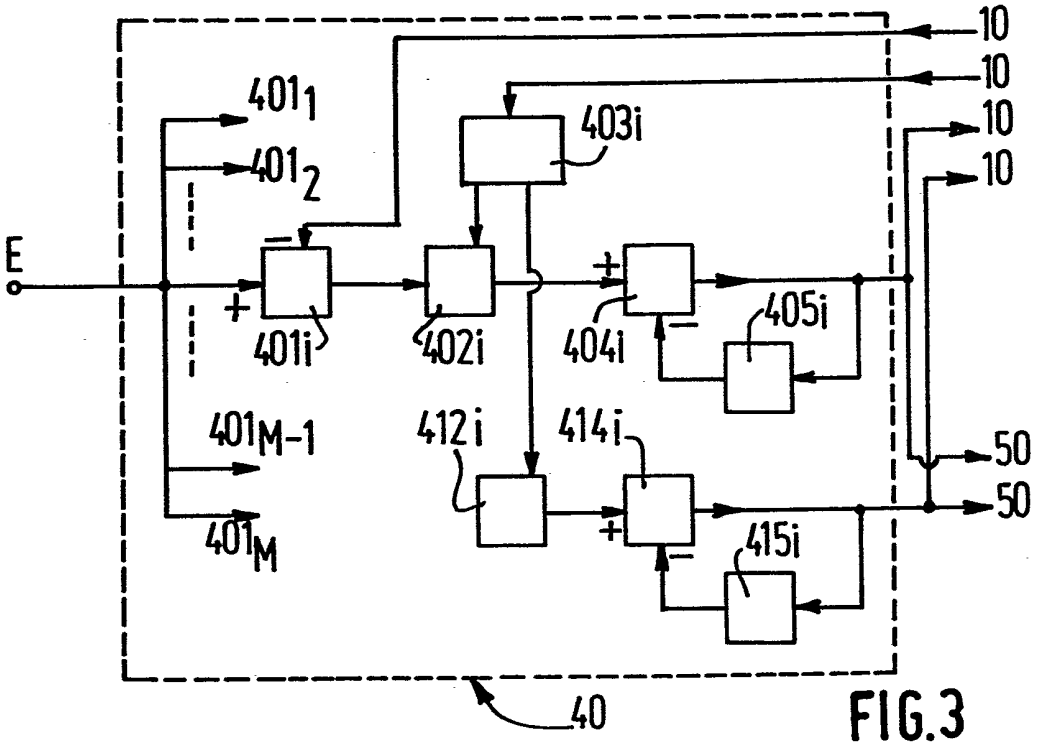



FIG.3

FIG.5

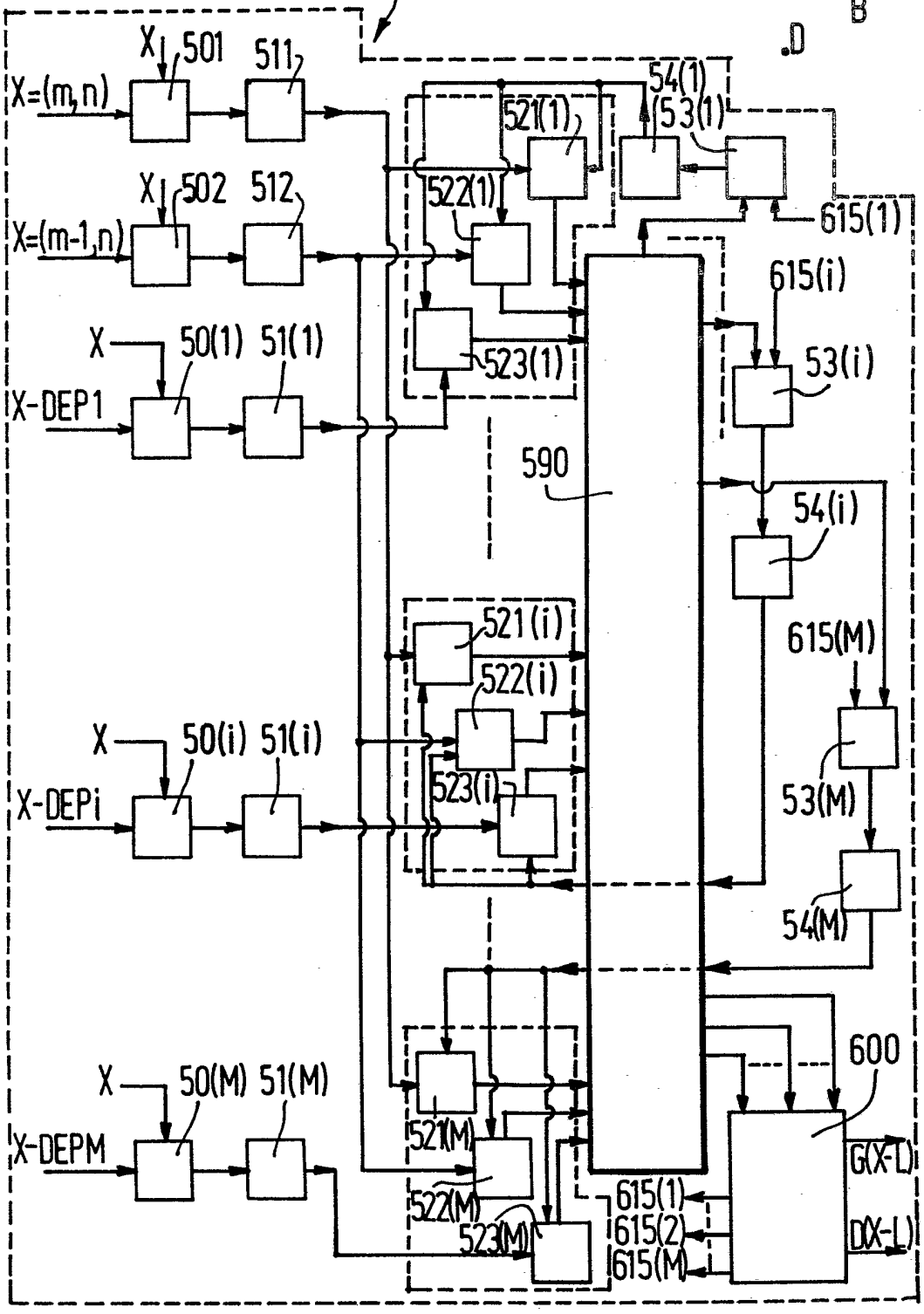
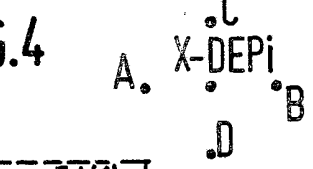

50
X
501
511
X=(m,n)
502
512
X=(m-1,n)
50(1)
51(1)
X-DEP1
521(1)
522(1)
523(1)
54(1)
53(1)
615(1)
615(i)
53(i)
590
54(i)
521(i)
522(i)
523(i)
50(i)
51(i)
X-DEPi
615(M)
53(M)
54(M)
50(M)
51(M)
X-DEPM
521(M)
522(M)
523(M)
600
615(1)
615(2)
615(M)
G(X-L)
D(X-L)

FIG.4


A.
X-DEPi
B
D
C

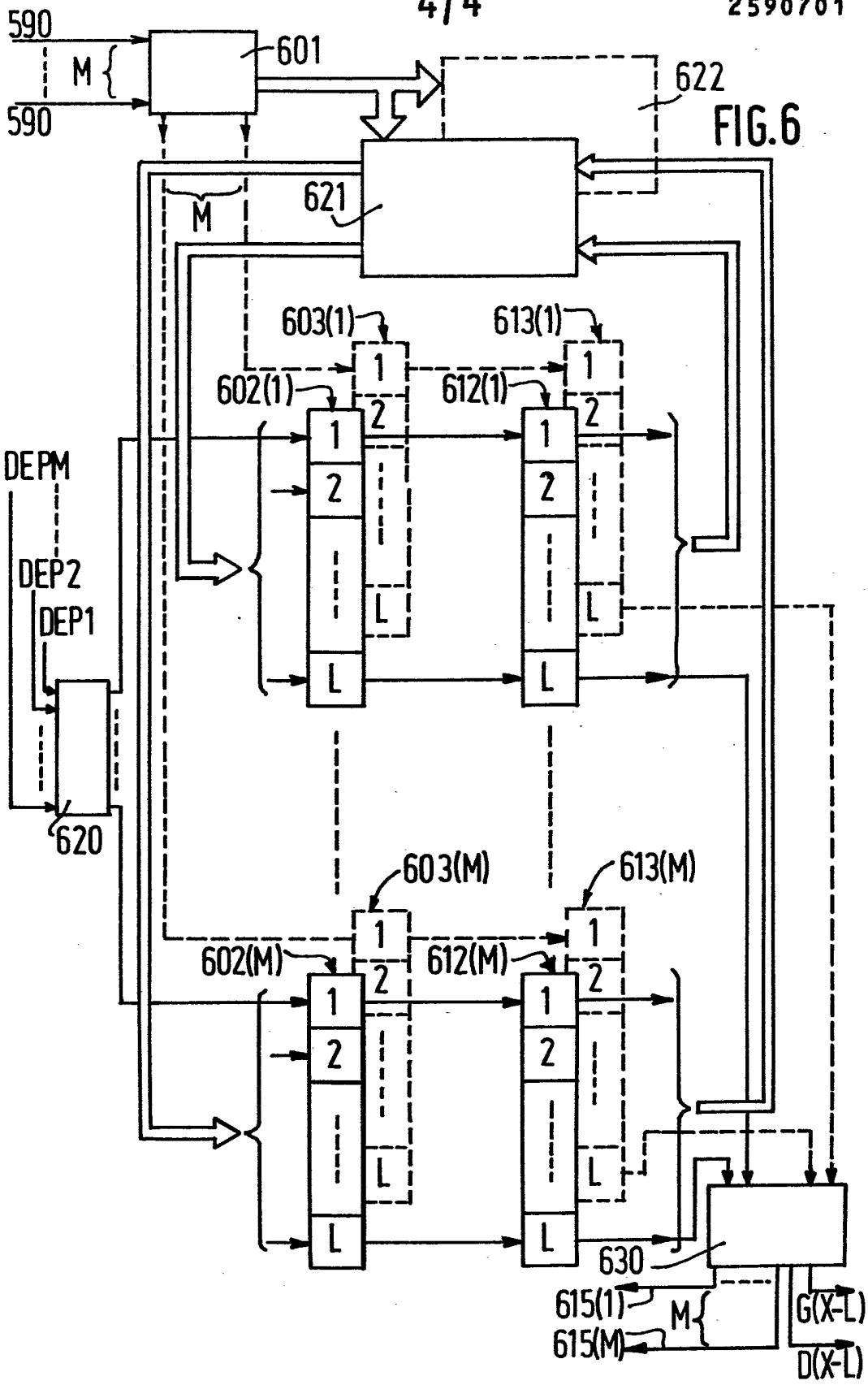

590
M
590
601
622
621
M
603(1)
613(1)
602(1)
612(1)
1
2
L
DEPM
DEP2
DEP1
620
603(M)
613(M)
602(M)
612(M)
630
615(1)
615(M)
M
G(X-L)
D(X-L)

FIG.6