

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 05.05.93.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 10.11.94 Bulletin 94/45.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : LABORATOIRES
D'ELECTRONIQUE PHILIPS Société Anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : Oddou Christophe.

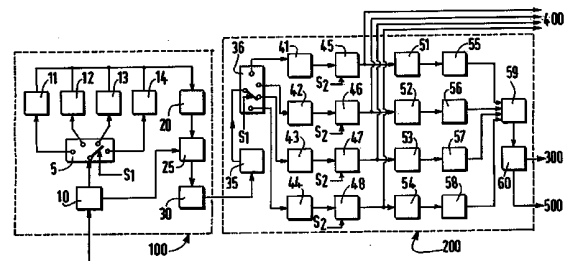
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : Landousy Christian Société Civile
S.P.I.D.

54 Dispositif de segmentation d'images composées de textures à partir de signaux numériques représentatifs desdites images.

57 Dispositif de segmentation d'images composées de textures à partir de signaux numériques représentatifs desdites images et par caractérisation de chaque texture à l'aide de paramètres qui en sont représentatifs et décomposition de chaque image en régions associées aux différentes textures, comprenant, pour ladite caractérisation de texture, un sous-ensemble (100) de filtrage morphologique directionnel et un sous-ensemble (200) de détermination de paramètres de texture, ainsi que, en sortie de ce dernier, un sous-ensemble de segmentation en régions, par la technique dite d'extraction de lignes de partage des eaux appliquée à une image de paramètres de texture subdivisée en blocs de taille déterminée. Un étage de séquençement fournit les différents signaux de commande desdits sous-ensembles.

Application: traitement d'images, compression de données.



"Dispositif de segmentation d'images composées de textures à partir de signaux numériques représentatifs desdites images"

Description

La présente invention concerne un dispositif de segmentation d'images composées de textures à partir de signaux numériques représentatifs desdites images et par caractérisation de chaque texture à l'aide de paramètres qui en sont représentatifs et décomposition de chaque image en régions associées aux différentes textures. Cette invention est utilisable par exemple pour le prétraitement d'images avant leur transmission et/ou leur stockage.

La transmission ou le stockage d'images en des temps très courts nécessite des débits très élevés qui, en général, ne sont pas envisageables, aussi bien pour des raisons économiques que techniques. Il est donc indispensable de comprimer les informations à transmettre (ou à stocker). Les techniques actuelles de compression de données reposent soit, de façon classique, sur un traitement des signaux par transformation orthogonale, avec des taux de compression voisins de 10, soit, dans une autre perspective fondée sur une meilleure analyse des images concernées et conduisant à des taux de compression supérieurs, sur un prétraitement desdites images qui consiste à les considérer comme constituées d'un ensemble de régions homogènes définies chacune par un contour et une texture interne.

Un tel prétraitement des images, décrit par exemple dans le document "Segmentation adaptative pour le codage d'images", thèse de doctorat n°691 (1987) présentée par Mr R. Leonardi au Département d'Electricité de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, permet d'obtenir une segmentation correcte en régions homogènes lorsque la luminance varie faiblement dans chacune de ces régions, mais conduit à une forte sur-segmentation lorsque lesdites régions correspondent à des textures du type herbe, raffia, bois, etc... ou, d'une manière générale, à des zones où peut être

observée une sorte d'aspect structuré et plus ou moins périodique, défini par un grain primaire et une ou des lois d'agencement ou de répétition de ce grain sur toute une surface. Pour le traitement de telles textures, la demande de brevet français n°2660459, qui souligne dans son introduction la diversité des procédés de segmentation connus à ce jour selon le type de texture rencontré, propose cependant une méthode de segmentation susceptible de convenir quel que soit le type de l'image et qui comprend notamment les étapes de base suivantes : caractérisation de chaque texture par un ensemble de paramètres formant un vecteur prototype, et classification par décomposition de l'image en régions associées aux différentes textures, avec fusion éventuelle des régions obtenues.

Le but de l'invention est de proposer un dispositif de segmentation d'images comprenant des textures qui, tout en respectant ces étapes de base, en propose une mise en oeuvre tout à fait nouvelle.

A cet effet, l'invention concerne un dispositif de segmentation tel que défini dans le paragraphe introductif et caractérisé en ce qu'il comprend :

(A) pour ladite caractérisation de texture, un sous-ensemble de filtrage morphologique directionnel suivi d'un sous-ensemble de détermination de paramètres de texture ;

(B) en sortie dudit sous-ensemble de détermination de paramètres, un sous-ensemble de segmentation en régions, par la technique dite d'extraction de lignes de partage des eaux appliquée à une image de paramètres de texture subdivisée en blocs de taille déterminée ;

(C) un étage de séquençement, pour la fourniture des différents signaux de commande desdits sous-ensembles.

La structure de dispositif ainsi proposée est originale pour la raison suivante. La morphologie mathématique, qui possède, pour effectuer de la segmentation d'image, un outil très efficace dit technique de la ligne de partage des

eaux, utilise habituellement cet outil sur des images à teintes de gris non texturées, c'est-à-dire pour isoler des zones à luminance pratiquement ou relativement constante. Dans le cas d'images composées de textures, cette technique n'est en principe pas applicable, puisque les zones correspondant à chaque texture ne sont pas à luminance constante, mais la difficulté ainsi apparue a pu être contournée en reconstituant, par l'intermédiaire de prétraitements originaux, des images auxquelles peuvent être appliqués les opérateurs morphologiques.

De façon avantageuse, ce dispositif de segmentation est plus particulièrement caractérisé en ce que :

(A) ledit sous-ensemble de filtrage morphologique directionnel comprend au moins :

(a) une première mémoire des signaux numériques représentatifs de l'image à segmenter ;

(b) en sortie de cette première mémoire, un circuit de filtrage morphologique directionnel ;

(c) une deuxième mémoire de stockage de l'image filtrée obtenue ;

(d) un soustracteur et, en sortie de celui-ci, une troisième mémoire de stockage d'une image de résidu obtenue par différence entre l'image originale et l'image filtrée ;

(B) ledit sous-ensemble de détermination de paramètres de texture comprend au moins :

(e) un circuit d'intégration de l'image de résidu ;

(f) en série, une quatrième mémoire de stockage de l'image de caractéristiques de texture obtenue après filtrage, un circuit de sous-échantillonnage spatial de cette image, et un circuit de calcul de gradient morphologique ;

(g) une mémoire de stockage du gradient dit global présent en sortie dudit circuit de calcul de gradient morphologique.

Dans un mode spécifique de réalisation, le

dispositif de segmentation selon l'invention est plus particulièrement caractérisé en ce que :

(A) ledit sous-ensemble de filtrage morphologique directionnel comprend :

5 (a) une première mémoire des signaux numériques représentatifs de l'image à segmenter ;

(b) en sortie de cette première mémoire, un premier commutateur à quatre positions suivi, en parallèle, de quatre circuits de filtrage morphologique directionnel ;

10 (c) une deuxième mémoire de stockage des quatre images filtrées successivement obtenues ;

(d) un soustracteur et, en sortie de celui-ci, une troisième mémoire de stockage de quatre images de résidu obtenues successivement par différence entre l'image originale et chacune des quatre images filtrées ;

15 (B) ledit sous-ensemble de détermination de paramètres de texture comprend :

(e) un circuit d'intégration des images de résidu ;

20 (f) en sortie de celui-ci, un deuxième commutateur à quatre positions, suivi de quatre branches en parallèle comprenant elles-mêmes chacune en série, une quatrième mémoire de stockage de l'image de caractéristiques de texture associée au filtrage correspondant, un circuit de sous-échantillonnage spatial de cette image, un circuit de calcul de gradient morphologique, et une cinquième mémoire de stockage dudit gradient ;

(g) un additionneur des sorties desdites cinquièmes mémoires ;

30 (h) une sixième mémoire de stockage du gradient dit global présent en sortie dudit additionneur.

Dans une variante de réalisation, le dispositif de segmentation est caractérisé en ce qu'il comprend, en sortie dudit sous-ensemble de segmentation, un sous-ensemble de fusion de régions par établissement d'un classement hiérarchique

desdites régions et, successivement pour chacune des paires de régions apparaissant dans ce classement, décision de fusion ou non en fonction d'un critère lié à des grandeurs représentatives de la distribution des points de chaque région.

5 Dans une variante de réalisation plus perfectionnée, le dispositif de segmentation selon l'invention est en outre caractérisé en ce qu'il comprend, en sortie du sous-ensemble de segmentation, un sous-ensemble d'affinement de contours par renouvellement d'extractions de lignes de partage
10 des eaux pour des subdivisions de l'image en blocs de taille plus faible, et ceci de façon itérative jusqu'à la résolution d'un point d'image.

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

- les figures 1 à 4 illustrent différentes
différentes transformations morphologiques de base d'une
fonction par un élément structurant ;
- 20 - les figures 5 et 6, une fois associées, montrent ensemble un exemple de réalisation d'un dispositif de segmentation conforme à l'invention ;
- les figures 7 et 8 illustrent, dans le
fonctionnement du dispositif selon l'invention, la façon dont
25 est réalisé le filtrage morphologique du gradient global par érosion géodésique.

 Avant de décrire un tel exemple de réalisation, quelques rappels relatifs aux textures et aux techniques qui permettent de les analyser sont utiles. Bien qu'il n'existe pas
30 de stricte définition de la notion de texture, on peut qualifier de la sorte toute région qui fournit une même impression visuelle, quelle qu'en soit la zone observée, en ajoutant cependant que la texture ainsi observée peut être considérée comme une macro-texture ou au contraire comme une
35 micro-texture selon la distance à laquelle on l'observe. Une

macro-texture semble pouvoir être définie par un motif de base -une sorte de grain- et par des règles d'agencement de ce motif dans l'espace, par répétition plus ou moins régulière par exemple. Une telle texture a un aspect relativement structuré et périodique, et donc ordonné, mais, vue de plus loin, cette structure et cette périodicité peuvent disparaître, et l'aspect devient au contraire désordonné.

Cette difficulté à décrire formellement un motif de base et ses règles d'agencement a conduit à rechercher des caractéristiques de texture plus facilement calculables. Cette recherche passe par des étapes successives d'analyse, pour extraire des paramètres caractéristiques d'une texture, et de segmentation, pour partager une image en régions de caractéristiques de texture homogènes, souvent suivies d'une étape de synthèse, qui a pour objectif de restituer les textures, par exemple à partir des paramètres qui ont été extraits initialement pour chaque région.

Les techniques de segmentation utilisées recherchent en général à déceler dans une image des discontinuités ou au contraire des similarités des caractéristiques d'image, ce qui revient donc à reproduire le plus précisément possible les contours réels des objets (c'est-à-dire les discontinuités dans l'image) tout en minimisant le nombre de régions de manière à éviter de constituer des frontières artificielles ne correspondant pas à une discontinuité. La morphologie mathématique, en particulier, possède une technique très efficace pour effectuer de la segmentation d'image, mais dans des applications où les images concernées sont à teintes de gris non texturées, correspondant à des objets de luminance relativement constante. Cette technique dite de la ligne de partage des eaux (et notée LPE par abréviation par la suite, ou WSL en anglais) est décrite en particulier dans le document "Morphological segmentation", de F.Meyer et S. Beucher, paru dans la revue "Journal of Visual Communication and Image Representation", Vol.1, n°1, septembre

1990, pp.21-46.

Pour mieux comprendre la morphologie mathématique et, plus particulièrement, cette technique LPE, il est judicieux de se représenter la fonction de luminance comme un relief, les points des images à niveaux de gris apparaissant d'autant plus clairs qu'ils sont plus élevés. Il en est de même pour le gradient de cette fonction de luminance, et, dans ce relief, les lignes de crête du gradient correspondent aux frontières des régions à segmenter. Une image peut alors être considérée comme une juxtaposition de bassins au fond desquels se trouve un minimum local, une sorte de plateau formé de points d'altitude sensiblement uniforme et dont tous les points voisins sont d'altitude supérieure. Si l'on perce un trou à l'endroit de chaque minimum local, puis que l'on procède à une inondation progressive du relief à partir des minima locaux en veillant à ce que le niveau des eaux monte à vitesse constante, on peut, chaque fois que les eaux issues de deux minima locaux se rencontrent, construire une digue le long de la ligne de crête correspondant à cette ligne de rencontre, de façon que les eaux issues des deux bassins distincts correspondants ne se mélangent pas.

La segmentation par cette technique LPE ne peut cependant être appliquée aux images texturées, puisque celles-ci n'ont pas une luminance constante. Les travaux menés par la société demanderesse ont alors consisté à tenter d'employer quand même cette technique, non plus sur une image de luminance mais sur une image construite à partir de paramètres de texture correctement sélectionnés. En effet, pour une image d'origine subdivisée en blocs de points d'image (ou pixels), ces blocs ont des paramètres voisins s'ils appartiennent à une même texture, et, par conséquent, dans des images qui ne sont plus les images d'origine mais des images de paramètres construites à partir d'elles, les blocs de pixels d'une même texture sont alors caractérisés par des niveaux de gris très proches les uns des autres. Il est donc possible d'appliquer la technique LPE

non plus à la luminance, mais à une autre grandeur, à savoir l'un de ces paramètres et par exemple, dans l'application décrite ci-après, le gradient morphologique G, dont la définition va être précisée plus loin.

5 Il est utile en effet de rappeler ici les principaux outils morphologiques utilisés à l'heure actuelle pour l'exploration de la structure géométrique des images. La transformation morphologique d'une image binaire représentée par un ensemble de données discrètes, noté X et défini dans
10 l'espace N des nombres entiers relatifs, fait appel à un élément structurant noté B et qui, choisi en fonction du problème posé, a pour rôle d'interagir avec l'image pour en extraire des informations géométriques utiles. Les différentes transformations de base qu'autorise un tel élément structurant
15 B sont l'érosion et la dilatation, complétées par l'ouverture et la fermeture qui en sont des combinaisons.

L'érosion morphologique d'une image X par un élément structurant B est définie ici par la notation $X(-)B$ et a pour effet de rétrécir cette image. On peut noter ce
20 rétrécissement de la façon suivante :

$$X(-)B = [X + (-b)]$$

où $X + (-b)$ est le résultat d'une translation de valeur b de l'image X. L'image résultante est par exemple notée :

$$Y = \text{"érodé Y de X par B"} = E^B(X)$$

25 De même, la dilatation morphologique de X par B est définie ici par la notation $X(+)B$ et a pour effet de dilater l'image, cette dilatation pouvant là aussi être notée $[X + (+b)]$ et correspondant, comme précédemment, à une translation de valeur b de l'image X mais en direction opposée, de façon à obtenir
30 une image Y notée :

$$Y = \text{"dilaté Y de X par B"} = D^B(X).$$

Ces deux opérations de base peuvent être associées pour opérer des transformations morphologiques plus complexes. L'ouverture d'une image X par un élément structurant B, définie ici par la
35 notation $[X(-)B](+)B$ consiste à opérer une érosion suivie d'une

dilatation, et son image résultante est par exemple notée :

$$P = D^B [E^B(X)]$$

De même la fermeture d'une image X par B, définie par la notation $[X(+)]B$ $(-)]B$ et dont l'image résultante est notée :

5
$$F = E^B[D^B(X)]$$

consiste à opérer une dilatation suivie d'une érosion.

Ces deux dernières transformations ont pour effet de lisser les contours des ensembles sur lesquels elles agissent. En effet une ouverture supprime sur les contours les proéminences qui sont de dimension inférieure à celle de l'élément structurant, et une fermeture obture sur ces contours les puits de dimension inférieure à celle de l'élément structurant. D'une façon générale, ces deux transformations éliminent donc les composantes plus petites que l'élément structurant utilisé.

10

15

Les opérateurs ainsi définis pour des frontières géométriques simples et dans le cas d'images binaires peuvent être généralisés à des images à teintes de gris. Si (x,y) définit un pixel de l'image X de niveau de gris $a(x,y)$, le niveau de gris érodé $E(x,y)$ de X par B est donné par l'expression :

20

$$E(x,y) = \min [a(x-i, y-j) - b(-i,-j)]$$

où $b(i,j) = 0$ ou $-\infty$ (moins l'infini) selon que (i,j) appartient à B ou non. Le niveau de gris dilaté $D(x,y)$ de X par B est de même donné par l'expression duale :

25

$$D(x,y) = \max [a(x+i, y+j) + b(i,j)]$$

Comme le montre les figures 1 et 2 illustrant respectivement l'érosion et la dilatation d'une fonction f par un élément structurant plan B, l'érosion a tendance à atténuer les crêtes du relief, c'est-à-dire à supprimer les taches claires, de faible épaisseur, et la dilatation a tendance à combler les vallées, c'est-à-dire à supprimer les taches sombres, de faible épaisseur également. De même, en teinte de gris, l'ouverture P et la fermeture F de X par l'élément structurant B, notées respectivement :

30

35

$$P(x,y) = \sup [E^B(f(u,v))]$$

$$F(x,y) = \inf [D^B(f(u,v))]$$

avec (u,v) appartenant à B , ont pour effet respectif de supprimer les pics de luminance et les creux de luminance dont la taille est inférieure à celle de l'élément structurant, tout en laissant pratiquement inchangées les autres formes : les figures 3 et 4 illustrent respectivement l'ouverture et la fermeture d'une fonction f par B .

On peut enfin définir, parmi d'autres types de transformations, le gradient morphologique G , qui est donné par l'expression :

$$G(f) = [(f(+))B - (f(-)B)]/2$$

et qui correspond donc, en quelque sorte, à la demi-différence entre le dilaté de f par B et l'érodé de f par B .

Ces rappels relatifs aux textures et aux techniques de transformation morphologique étant effectués, on peut maintenant décrire le dispositif de segmentation d'images selon l'invention. Ce dispositif, représenté sur les figures 5 et 6 à considérer en association, comprend tout d'abord un sous-ensemble 100 de filtrage morphologique directionnel. Ce sous-ensemble 100 comprend lui-même une première mémoire 10 de stockage des signaux numériques représentatifs de l'image à segmenter en fonction des différentes textures qu'elle contient. La sortie de cette mémoire 10 est ici reliée à l'entrée commune d'un premier commutateur 5 à quatre positions, suivi, en parallèle, de quatre circuits 11, 12, 13, 14 de filtrage morphologique directionnel. Les quatre circuits de filtrage 11 à 14 permettent de réaliser sur l'image quatre transformations composées ici chacune d'une ouverture et d'une fermeture et pour lesquelles l'élément structurant est plan, d'épaisseur 1 pixel, de longueur 3 pixels et d'orientation 0° , 45° , 90° , et 135° respectivement. Les quatre images filtrées sont successivement stockées dans une deuxième mémoire 20. Une troisième mémoire 30 permet de stocker pour chaque élément structurant l'image dite de résidu obtenue en sortie d'un

soustracteur 25 par différence entre l'image originale et chacune des images filtrées (chaque résidu est donné par la valeur absolue de cette différence). La valeur de ce résidu pour chaque pixel et pour chacun des quatre filtrages morphologiques constitue un paramètre de texture, et l'on pourrait bien entendu établir autant de cartes de paramètres de texture qu'il y a de variantes de tels filtrages.

A ce point de la mise en oeuvre du dispositif des figures 5 et 6, chaque pixel de l'image est donc remplacé par quatre informations qu'on peut considérer comme un vecteur à quatre composantes. Cependant, une texture ne peut pas être définie à partir d'attributs ponctuels, car un seul pixel n'est représentatif ni du grain ni des règles d'agencement de la structure, et il faut faire appel au voisinage de ce pixel. Pour pouvoir extraire de façon objective des caractéristiques de texture, il est nécessaire de connaître un échantillon de celle-ci, et d'une taille suffisante pour pouvoir reconnaître effectivement la portion de texture présente.

Il est prévu à cet effet, en sortie du sous-ensemble 100, un sous-ensemble 200 de détermination de paramètres de texture. Ce sous-ensemble 200 comprend tout d'abord un circuit 35 d'intégration de l'image de résidu, prévu en sortie de la troisième mémoire 30 et qui permet de constituer des zones homogènes où la valeur des composantes vectorielles est pratiquement constante sur de larges plages. La taille $m \times n$ de la fenêtre d'intégration est bien entendu fonction du type de l'image d'origine : dans le cas présent, on a retenu une dimension de fenêtre de 24×24 pixels, pour des images qui sont constituées de 512×512 pixels, mais il est manifeste que la présence de macro-textures dans l'image nécessiterait une résolution plus élevée pour que les fenêtres puissent contenir toute l'information de texture. D'autre part, l'intégration ainsi réalisée est ici un simple calcul de moyenne, mais on pourrait par exemple pondérer dans un tel calcul l'influence de chaque pixel en fonction de sa distance

au centre de la fenêtre.

La sortie du circuit d'intégration 35 est reliée à l'entrée commune d'un deuxième commutateur 36 dont les sorties non communes sont reliées à quatre branches en parallèle
5 comprenant elles-mêmes en série tout d'abord des mémoires 41 à 44 dites quatrièmes et des circuits de sous-échantillonnage 45 à 48. Les mémoires 41 à 44 permettent de disposer successivement, en parallèle, de quatre images de caractéristiques de texture correspondant à chacun des quatre
10 filtrages morphologiques effectués. Les circuits de sous-échantillonnage 45 à 48 permettent d'effectuer respectivement un sous-échantillonnage spatial de ces images, tous les $p \times q$ pixels dans les directions horizontale et verticale respectivement, et chaque bloc de $p \times q$ pixels est donc
15 remplacé maintenant par un sous-échantillon qu'on appellera macropixel dans la suite de la description (dans l'exemple décrit, on prend $p = q = 16$). A chacun de ces macropixels est associée la valeur prélevée dans les mémoires 41 à 44 et correspondant à la valeur moyenne des paramètres de textures
20 obtenue après intégration sur la fenêtre choisie. Ce sous-échantillonnage permet d'effectuer maintenant toutes les opérations ultérieures à la résolution $p \times q$, l'entité élémentaire étant le bloc $p \times q$ et non plus le pixel. A l'intérieur d'un tel bloc, il faut préciser qu'on a choisi
25 d'effectuer un simple calcul de valeur moyenne, mais que d'autres calculs plus complexes peuvent être adoptés. On peut notamment, pour affiner les frontières entre blocs, pondérer la contribution de chaque pixel en fonction de sa distance au centre du bloc, selon une loi gaussienne par exemple.

30 Dans les quatre branches en parallèle sont ensuite prévus quatre circuits 51 à 54 de calcul de gradient morphologique, puis quatre mémoires 55 à 58 de stockage des gradients ainsi calculés, dites cinquièmes mémoires. Les sorties de ces branches sont fournies à un nombre identique
35 d'entrées d'un additionneur 59 délivrant un gradient global G_G

qui est stocké dans une sixième mémoire 60. On a exposé précédemment d'une part en quoi consistait la technique LPE et d'autre part le choix technique effectué d'appliquer cette technique à des images construites à partir de paramètres de texture pertinents et, plus particulièrement, le gradient morphologique G. En effet, à l'intérieur d'une texture, les variations du gradient G sont relativement peu importantes, alors qu'au niveau des frontières entre régions de textures différentes, le gradient global est plus élevé (d'autant plus que le contraste est plus grand entre ces régions).

La segmentation proprement dite est maintenant réalisée dans un sous-ensemble 300 de segmentation. Cette segmentation par la technique LPE se décompose en deux étapes, la première consistant à marquer les régions que l'on veut extraire, et la seconde à délimiter de façon définitive les régions d'image. Un marqueur, qui est un petit ensemble de pixels inclus dans la région et constituant en quelque sorte le germe de développement de celle-ci, doit correspondre de façon unique à la région qu'il marque. Un bon candidat pour jouer ce rôle de marqueur est le minimum du gradient global G dans chaque région. On peut cependant constater que l'application de la technique LPE à tous les minima locaux détectés conduit à une sur-segmentation relativement importante du fait que certains d'entre eux ne sont pas vraiment significatifs (ils ne sont dûs qu'à de faibles fluctuations du gradient à l'intérieur d'une même texture).

Pour éviter cette sur-segmentation, on procède dans le sous-ensemble 300, à un prétraitement qui élimine ces minima non significatifs. Ce prétraitement est réalisé ici à l'aide d'un circuit 65 de filtrage morphologique par érosion géodésique. On précise ici, en complément aux rappels déjà effectués relativement à quelques opérateurs de base de la morphologie mathématique, que la distance géodésique $d_X(x,y)$ entre deux points x et y d'un ensemble X est la borne inférieure des différentes longueurs de chemin possibles entre

x et y dans X. Cette distance peut être notée
 $d_X(x,y) = \inf [\text{longueurs } C(x,y)]$, où C désigne un chemin
quelconque dans X entre x et y (entre deux points situés dans
deux bassins distincts, tels qu'on les obtiendrait par la
5 technique LPE, cette distance est donc conventionnellement
considérée comme infinie, puisque ces deux points ne peuvent
pas être joints). On appelle alors boule géodésique de rayon R
centrée en x l'ensemble $S(x,r)$ des points y appartenant au même
ensemble X et tels que leur distance géodésique $d_X(x,y)$ au
10 point x est inférieure ou égale au rayon R. Sur une telle boule
géodésique, on peut alors procéder, à l'aide d'un élément
structurant B, à une érosion ou à une dilatation, telles que
ces deux transformations morphologiques ont été définies
précédemment, et avec le même effet de lissage de la surface de
15 la boule.

Dans la réalisation ici décrite, on choisit de ne
conserver les minima locaux que sous contrainte d'une hauteur
h. La figure 7 montre un exemple de fonction G (gradient
global) au-dessus de laquelle a été construite la fonction
20 $G + h$, où h est une constante positive, et la figure 8 montre,
par rapport à la fonction G initiale, la fonction finalement
obtenue après érosion géodésique par le circuit 65. Une
septième mémoire 70 assure le stockage de l'image de gradient
ainsi filtrée (dans cette image finalement obtenue, le
25 prétraitement a, en fait, consisté à supprimer les vallées dont
la hauteur est inférieure à h et à combler les autres d'une
hauteur h). La sortie de la mémoire 70 est fournie à un premier
circuit 75 de segmentation par calcul de ligne
de partage des eaux (il s'agit de l'application directe de la
30 technique LPE), et cette segmentation initiale fournit une
carte ou image de labels (ou étiquettes) qui permet
d'identifier les différentes régions issues de ladite
segmentation et qui est stockée dans une huitième mémoire 80.
Le processus de segmentation est terminé, sous réserve d'une
35 fusion éventuelle de régions adjacentes destinée à remédier à

une éventuelle sur-segmentation de l'image et effectuée comme indiqué maintenant.

5 Par un choix approprié de la constante h (valeur pas trop élevée), l'image n'est souvent que modérément sur-segmentée. Cette sur-segmentation peut être réduite en mettant en oeuvre une procédure de regroupement éventuel de régions adjacentes, qui est ici réalisée à l'aide d'un sous-ensemble 400 de fusion de régions. Le traitement de fusion réalisé dans ce sous-ensemble procède selon les étapes suivantes :

10 (a) établissement d'un classement hiérarchique de régions, dont les éléments successifs sont, par ordre de proximité décroissante, des couples (R_a, R_b) de régions adjacentes ;

15 (b) pour chacune des paires de régions de ce classement, association (à chacune des deux régions comparées) d'une grandeur représentative de la distribution de ses points ;

(c) décision de fusion, ou non, des deux régions en fonction d'un critère lié auxdites grandeurs représentatives.

20 Ces étapes peuvent être décrites de façon plus détaillée. Tout d'abord, à partir des informations de délimitation de régions (fournies par la mémoire 80) et des paramètres de texture (ici la valeur moyenne des paramètres de texture sur la fenêtre d'intégration, après sous-
25 échantillonnage), un circuit de classement 401 considère tour à tour toutes les régions adjacentes deux par deux, de la façon suivante. Pour une région R_i déterminée, on appelle P_i , prototype de la région R_i , le vecteur moyen de l'ensemble des vecteurs de paramètres des blocs constituant la région R_i , ce
30 qui peut être énoncé sous la forme :

$$P_i = (1/N_i) \times \sum P_k$$

où N_i est le nombre de blocs de la région R_i et p_k le vecteur de paramètres du bloc k. Chaque région étant ainsi repérée par un vecteur prototype, la distance $d(R_i, R_j)$ entre la région R_i
35 et chaque région adjacente R_j peut être évaluée, par exemple en

utilisant la définition de la distance euclidienne :

$$d(R_i, R_j) = \left[\sum_1^N (p_i - p_j)^2 \right]^{1/2}$$

où N est le nombre de composantes de chaque vecteur et où p_i et p_j sont lesdites composantes pour les vecteurs prototypes P_i et P_j respectivement.

Lorsque tous les couples possibles (R_i, R_j) de régions adjacentes ont été rangés en fonction de la distance qui les sépare (quelle que soit la définition adoptée pour cette distance), avec comme premier élément de ce classement le couple (R_a, R_b) dont les vecteurs de paramètres sont les plus proches, un circuit 402 de calcul de grandeur représentative de chaque région opère successivement sur chaque couple (R_i, R_j) dudit classement pour déterminer, pour chacune des deux régions du couple, une grandeur caractérisant la distribution du nuage des points qui forment la région. Cette grandeur, destinée à constituer une sorte d'indice de compacité de la région, sera choisie par exemple égale à l'écart-type S, avec :

$$S^2 = (1/N_i) \sum_1^{N_i} dist^2(P_k, P_i)$$

où N_i est, comme on l'a vu, le nombre de points représentatifs (c'est-à-dire le nombre de blocs) de la région R_i et dist la distance selon la métrique choisie (la distance euclidienne dans l'exemple ci-dessus).

Un circuit de décision 403 autorise alors (ou non) la fusion entre les deux régions d'un couple sur la base d'un critère lié à ces grandeurs représentatives, par exemple lorsque l'inégalité suivante est vérifiée pour deux régions R_a, R_b :

$$Dist(R_a, R_b) < \min (S_a, S_b),$$

c'est-à-dire lorsque la distance (selon la métrique choisie) entre les deux régions concernées reste inférieure à la plus faible des deux valeurs S_a, S_b d'écart-type attachées respectivement à chaque région (cela correspond sensiblement à

la situation où le centre de gravité de chaque nuage de points est inclus à l'intérieur de l'autre). La fusion n'est au contraire pas effectuée si l'inégalité n'est pas vérifiée. Lorsqu'il y a fusion des deux régions, un nouveau vecteur prototype est calculé pour la nouvelle région ainsi constituée. Une sortie du circuit 403 est alors envoyée d'une part vers la mémoire 80, pour actualisation des informations de délimitation de régions, et d'autre part vers les circuits 401 et 402, pour actualiser respectivement le rangement effectué par le circuit 401 et le calcul d'écart-type effectué par le circuit 402, et pouvoir ainsi renouveler la succession des décisions de fusion, de reclassement, et de traitement de toutes les paires de régions adjacentes jusqu'à ce que le critère de fusion ne soit plus vérifié.

Ce regroupement éventuel de régions adjacentes met fin définitivement à la segmentation. A l'image initiale est maintenant substituée une partition de cette image en zones de paramètres de texture similaires, la brique de base ou entité élémentaire de cette partition étant, on l'a vu, le bloc d'image de taille $p \times q$. La résolution des frontières de ces zones est donc elle aussi égale à la taille de ces blocs.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée à l'exemple de réalisation des figures 5 et 6 ni aux variantes qui ont déjà été mentionnées. On peut en particulier améliorer la segmentation qui vient d'être réalisée en augmentant la résolution. En effet, après exécution de la segmentation selon la technique LPE précédemment décrite puis fusion éventuelle des régions, la résolution des frontières des régions issues de ce processus de segmentation et fusion est égale à la taille des blocs d'affectation des paramètres de texture (blocs de 16×16 pixels dans l'exemple décrit), ce qui donne à ces frontières une forme en marches d'escalier. On remédie à ce défaut résiduel en mettant en place en sortie du sous-ensemble 400 un sous-ensemble 500 d'affinement de contours.

Ce sous-ensemble 500 comprend tout d'abord un circuit 501 d'extraction de marqueurs, suivi d'une neuvième mémoire 90 de stockage de l'image de marqueurs ainsi constituée. En sortie de cette mémoire est enfin prévu un deuxième circuit 503 de segmentation par calcul de ligne de partage des eaux, recevant d'une part l'image de gradient global présente en sortie de la sixième mémoire 60 et d'autre part l'image de marqueurs présente en sortie de cette neuvième mémoire 90. Le fonctionnement de ce sous-ensemble 500 est le suivant. Alors que les images de paramètres de texture et les gradients avaient utilisé jusqu'à présent des macropixels de 16 x 16 pixels, on réduit (par exemple par une division par deux, sans que cet exemple soit limitatif) les dimensions des blocs ainsi constitués et l'on reprend un processus d'extraction de lignes de partage des eaux à partir du nouveau gradient global de résolution améliorée (double dans le cas d'une division des dimensions par deux) et en utilisant comme marqueurs le noyau des régions résultant de la segmentation déjà réalisée (le noyau d'une région est l'ensemble des macropixels de la taille choisie qui ne sont pas sur les contours). Ce processus conduit à une nouvelle image de labels qui se substitue à celle précédemment stockée dans la huitième mémoire 80. On réduit alors à nouveau (par exemple par une nouvelle division par deux) la taille des blocs ou macropixels, pour un nouveau processus d'extraction de lignes de partage des eaux, et ainsi de suite éventuellement jusqu'à la résolution d'un pixel. La segmentation est alors définitivement achevée.

Avec ou sans la mise en place de ces opérations d'affinement de contours, le dispositif de segmentation selon l'invention comprend, dans tous les cas, un étage 600 de séquencement qui constitue la logique de contrôle permettant de délivrer les différents signaux de commande nécessaires. Ces signaux sont les suivants :

(a) un signal S_1 de commande de la position des commutateurs qui autorisent les différents filtrages

morphologiques et les mémorisations correspondantes des quatre images de caractéristiques de texture ;

(b) un signal S_2 qui permet de régler la taille des macropixels, tout d'abord à la taille adoptée pour la première
5 segmentation (ici 16 x 16 pixels), puis aux tailles suivantes (par division de la taille par deux) lors de l'affinement de contours ;

(c) un signal S_3 d'initialisation des opérations de fusion éventuelle de régions adjacentes ;

10 (d) un signal S_4 de déclenchement du processus de segmentation par calcul de ligne de partage des eaux, lors de la segmentation initiale ;

(e) un signal S_5 de déclenchement du processus de segmentation complémentaire lors de l'affinement des contours
15 des régions obtenues après ladite segmentation initiale.

Le signal S_1 est donc reçu par les commutateurs 5 et 36, le signal S_2 par les circuits de sous-échantillonnage 45 à 48, le signal S_3 par le circuit de classement 401, le signal S_4 par le premier circuit de segmentation 75, et le signal S_5
20 par le deuxième circuit de segmentation 503.

Par ailleurs, il faut bien noter qu'on a choisi ici de décrire et de réaliser un dispositif de segmentation à quatre voies correspondant chacune à un filtrage morphologique distinct, mais que l'invention est déjà mise en oeuvre avec au
25 moins une voie, correspondant à un seul filtrage morphologique. Dans ce cas, les commutateurs 5 et 36 et l'additionneur 59 n'ont plus à être prévus. La réalisation correspondante à une seule voie permet de segmenter l'image en isolant une seule région du reste de cette image. Il faut également noter que,
30 quel que soit le nombre des voies, la taille, la forme et l'orientation de l'élément structurant peuvent être modifiées, pour extraire tout type de caractéristique, sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS :

1. Dispositif de segmentation d'images composées de textures à partir de signaux numériques représentatifs desdites images et par caractérisation de chaque texture à l'aide de
5 paramètres qui en sont représentatifs et décomposition de chaque image en régions associées aux différentes textures, caractérisé en ce qu'il comprend :

(A) pour ladite caractérisation de texture, un sous-ensemble de filtrage morphologique directionnel suivi d'un
10 sous-ensemble de détermination de paramètres de texture ;

(B) en sortie dudit sous-ensemble de détermination de paramètres, un sous-ensemble de segmentation en régions, par la technique dite d'extraction de lignes de partage des eaux appliquée à une image de paramètres de texture subdivisée en
15 blocs de taille déterminée ;

(C) un étage de séquencement, pour la fourniture des différents signaux de commande desdits sous-ensembles.

2. Dispositif de segmentation selon la revendication 1, caractérisé en ce que :

(A) ledit sous-ensemble de filtrage morphologique directionnel comprend au moins :

(a) une première mémoire des signaux numériques représentatifs de l'image à segmenter ;

(b) en sortie de cette première mémoire, un
25 circuit de filtrage morphologique directionnel ;

(c) une deuxième mémoire de stockage de l'image filtrée obtenue ;

(d) un soustracteur et, en sortie de celui-ci, une troisième mémoire de stockage d'une image de résidu obtenue
30 par différence entre l'image originale et l'image filtrée ;

(B) ledit sous-ensemble de détermination de paramètres de texture comprend au moins :

(e) un circuit d'intégration de l'image de résidu ;

(f) en série, une quatrième mémoire de stockage
35

de l'image de caractéristiques de texture obtenue après filtrage, un circuit de sous-échantillonnage spatial de cette image, et un circuit de calcul de gradient morphologique ;

5 (g) une mémoire de stockage du gradient dit global présent en sortie dudit circuit de calcul de gradient morphologique.

3. Dispositif de segmentation selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que :

10 (A) ledit sous-ensemble de filtrage morphologique directionnel comprend :

(a) une première mémoire des signaux numériques représentatifs de l'image à segmenter ;

15 (b) en sortie de cette première mémoire, un premier commutateur à quatre positions suivi, en parallèle, de quatre circuits de filtrage morphologique directionnel ;

(c) une deuxième mémoire de stockage des quatre images filtrées successivement obtenues ;

20 (d) un soustracteur et, en sortie de celui-ci, une troisième mémoire de stockage de quatre images de résidu obtenues successivement par différence entre l'image originale et chacune des quatre images filtrées ;

(B) ledit sous-ensemble de détermination de paramètres de texture comprend :

25 (e) un circuit d'intégration des images de résidu ;

30 (f) en sortie de celui-ci, un deuxième commutateur à quatre positions, suivi de quatre branches en parallèle comprenant elles-mêmes chacune, en série, une quatrième mémoire de stockage de l'image de caractéristiques de texture associée au filtrage correspondant, un circuit de sous-échantillonnage spatial de cette image, un circuit de calcul de gradient morphologique, et une cinquième mémoire de stockage dudit gradient ;

35 (g) un additionneur des sorties des dites cinquièmes mémoires ;

(h) une sixième mémoire de stockage du gradient dit global présent en sortie dudit additionneur.

4. Dispositif de segmentation selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend, en
5 sortie dudit sous-ensemble de segmentation, un sous-ensemble de fusion de régions par établissement d'un classement hiérarchique desdites régions et, successivement pour chacune des paires de régions apparaissant dans ce classement, décision
10 de fusion ou non en fonction d'un critère lié à des grandeurs représentatives de la distribution des points de chaque région.
5. Dispositif de segmentation selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend, en
15 sortie du sous-ensemble de segmentation, un sous-ensemble d'affinement de contours par renouvellement d'extractions de lignes de partage des eaux pour des subdivisions de l'image en blocs de taille plus faible, et ceci de façon itérative jusqu'à la résolution d'un point d'image.

1/4

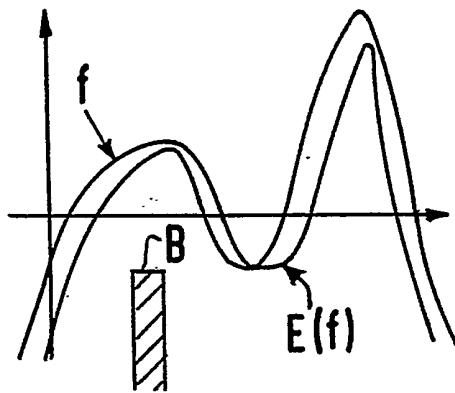


FIG. 1

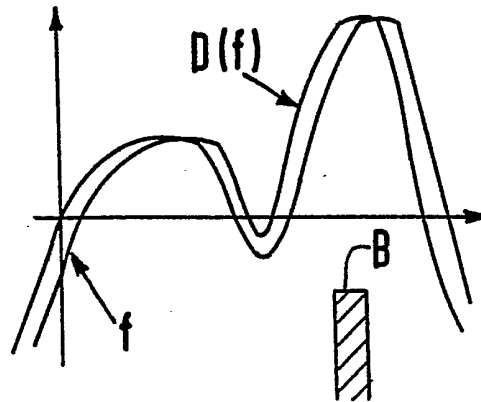


FIG. 2

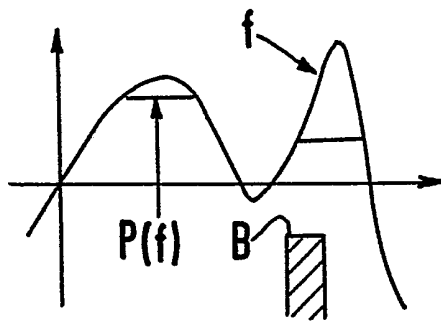


FIG. 3

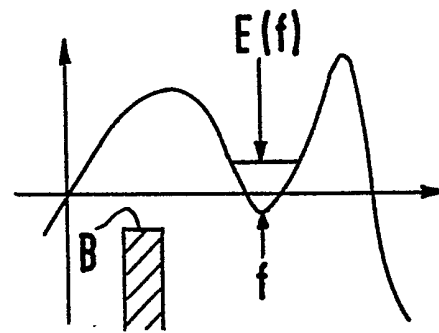


FIG. 4

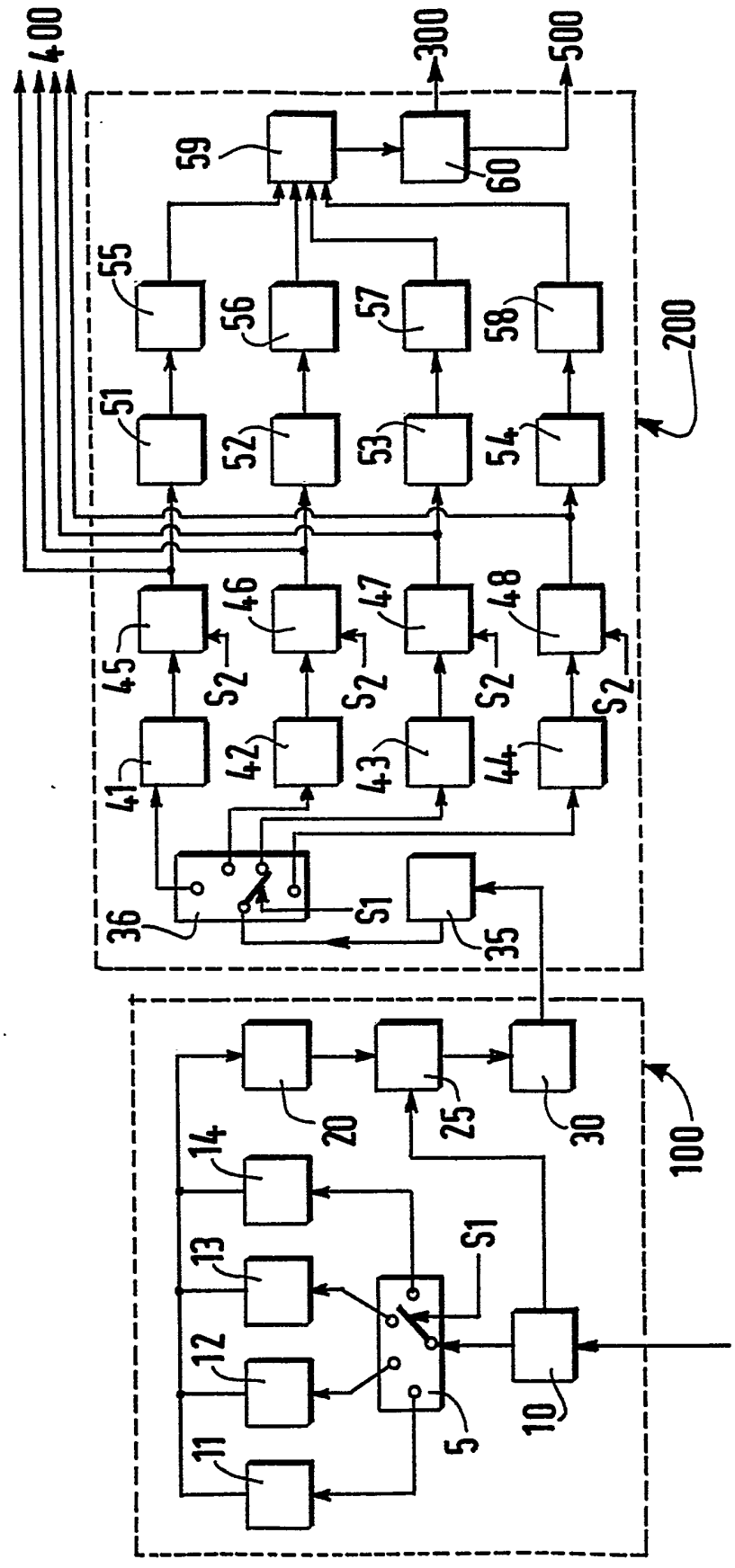


FIG.5

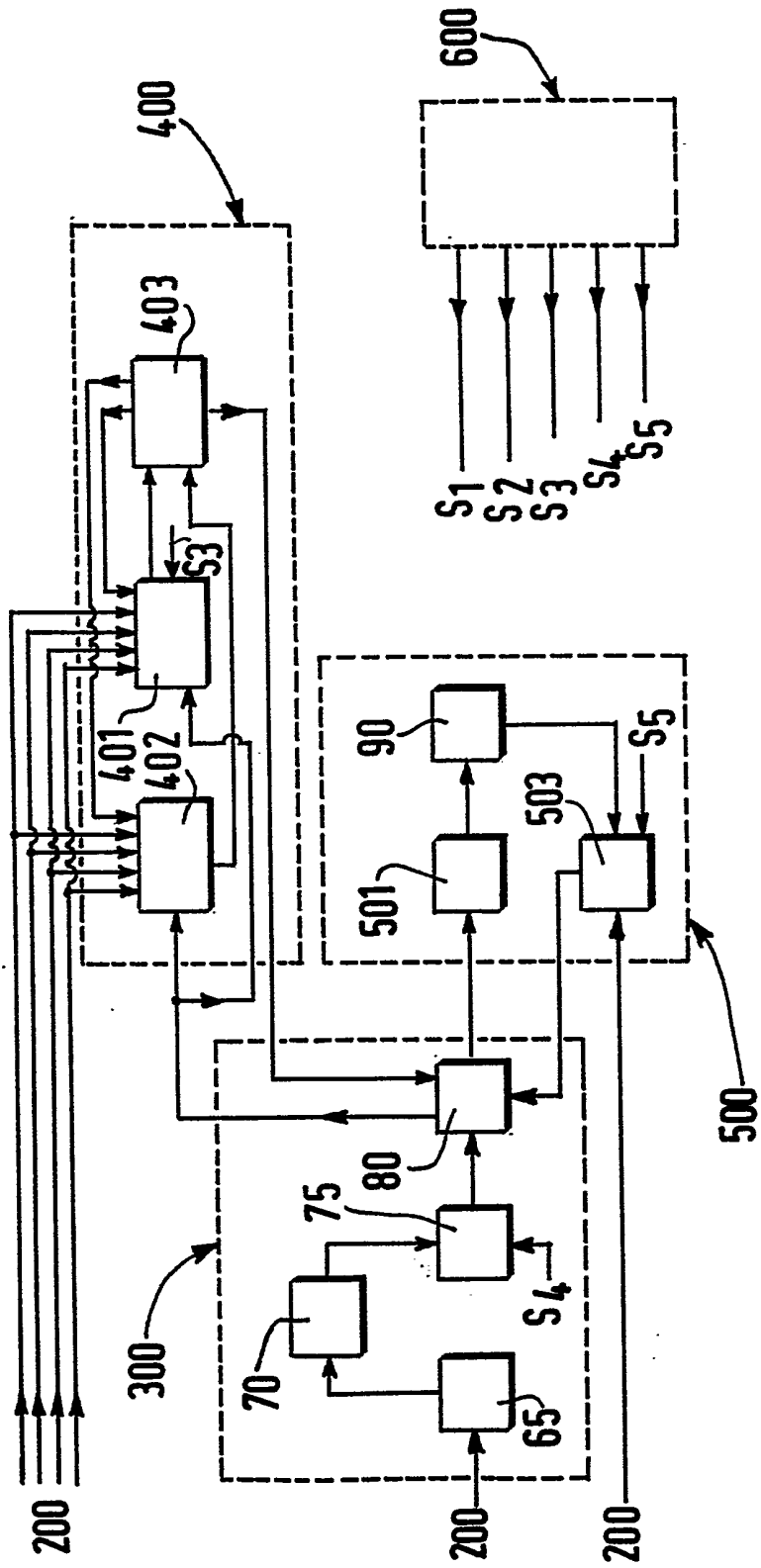


FIG. 6

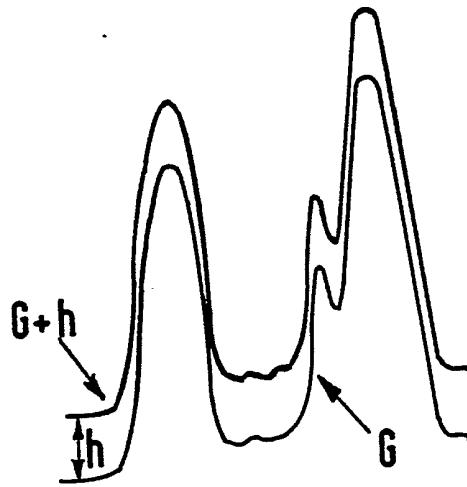


FIG. 7

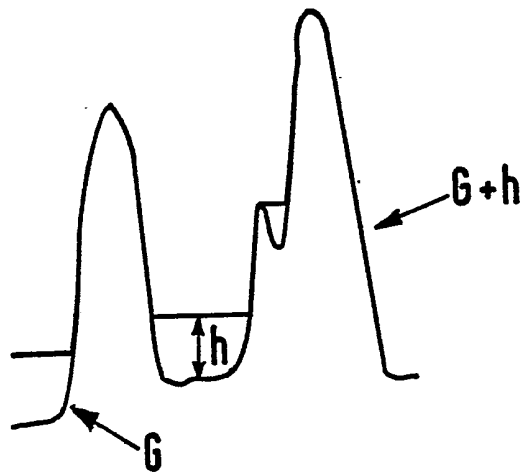


FIG. 8

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A,D	FR-A-2 660 459 (THOMSON CSF) 4 Octobre 1991 * abrégé; figure 1 * * page 3, ligne 30 - page 4, ligne 35 * * page 6, ligne 21 - page 8, ligne 4; figures 3A,3B,3C * -----	1-5
A,D	JOURNAL OF VISUAL COMMUNICATION AND IMAGE REPRESENTATION vol. 1, no. 1, Septembre 1990 pages 21 - 46 MEYER, F. ET AL. 'morphological segmentation' * abrégé * * page 23, colonne de gauche, ligne 9 - page 25, colonne de gauche, ligne 14 * -----	1-5
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
		G06F H04N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
20 Janvier 1994		Revellio, H
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)