(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 790 899**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **99 02907**

(51) Int Cl[7] : **H 04 N 7/50**

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 09.03.99.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 15.09.00 Bulletin 00/37.

(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) :** *THOMSON BROADCAST SYSTEMS Société anonyme* — FR.

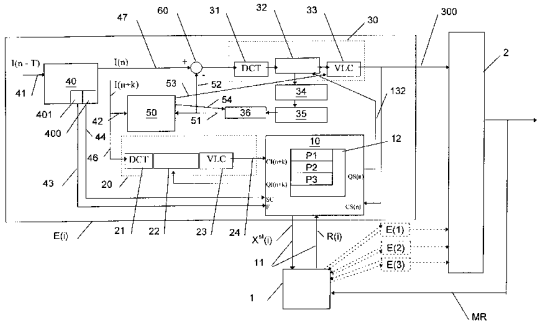
(72) **Inventeur(s) :** DIASCORN JEAN LOUIS, ALEXANDRE PATRICE et LAVENAN THIERRY.

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

(74) **Mandataire(s) :** THOMSON MULTIMEDIA.

(54) DISPOSITIF ET PROCEDE DE REGULATION DE DEBIT DANS UN SYSTEME DE MULTIPLEXAGE STATISTIQUE DE FLUX D'IMAGES CODEES SELON LE CODAGE MPEG 2.

(57) Dispositif de régulation de débit dans un système de multiplexage statistique de plusieurs flux d'images codées par des codeurs E (i) selon codage MPEG 2, intégré à chaque codeur E (i), le système de multiplexage statistique comprenant un dispositif (1) d'allocation de débit utilisant la complexité calculée par le dispositif (10) de régulation de débit, chaque codeur E (i) de chaque flux comprenant un premier dispositif (20) de codage réalisant un premier codage spatial et un deuxième dispositif (30) de codage, des moyens (12) de mémorisation mémorisant la complexité X^{1st}_i de la dernière image codée spatialement par le premier dispositif de codage, la complexité (X^{-}_{GOP}) du dernier groupe d'images effectivement codées par le deuxième dispositif (30) de codage, le dernier débit Ri alloué par le dispositif d'allocation (1) de débit, le dispositif (10) de régulation de débit du codeur E (i) déterminant, la valeur de complexité pour la prochaine image codée par le deuxième dispositif (30) de codage, en utilisant les valeurs mémorisées, et transmettant cette valeur de complexité vers l'allocateur de débit (1) pour détermination du prochain débit de consigne envoyé au codeur E (i).



FR 2 790 899 - A1

La présente invention concerne un dispositif et un procédé de régulation de débit dans un système de multiplexage statistique de flux d'images codées selon la norme de codage MPEG 2. Ces procédé et dispositif sont intégrés, par exemple, sur chaque codeur d'un système de multiplexage statistique.

Un système de codage selon la norme MPEG 2 vidéo utilise les propriétés du signal afin d'en réduire le débit binaire.

L'algorithme de codage mis en oeuvre décrit les images par blocs en exploitant les redondances spatiale et temporelle des images à coder.

La redondance spatiale est traitée, principalement, grâce à la succession de trois opérations : une opération communément appelée transformée cosinus discrète et notée DCT (l'acronyme DCT est issu de l'anglais "Discrete Cosine Transform"), une opération de quantification des coefficients issus de la DCT et une opération de codage à longueur variable VLC (l'acronyme VLC est issu de l'anglais " Variable Length Coding ") pour décrire les coefficients quantifiés issus de la DCT.

La transformation DCT permet de transformer une représentation spatiale à 2 dimensions constituée par l'image vidéo numérisée en une représentation spectrale où l'on ignore la phase. Cette transformation DCT conduit à la réalisation d'une matrice de la dimension d'un bloc où chaque coefficient correspond à une combinaison de deux fréquences horizontale et verticale, sachant que les coefficients pour les fréquences basses sont situés en haut et à gauche de la matrice.

La quantification des coefficients issus de la matrice de la transformation DCT consiste à exprimer ces coefficients suivant des valeurs multiples du pas de quantification retenu. A ce titre, les coefficients inférieurs au pas ou niveau de quantification sont codés par la valeur 0. Enfin, le codage à

longueur variable consiste à coder chaque coefficient de la matrice une fois quantifié selon un codage de type entropique qui associe le code binaire le plus petit aux valeurs de coefficients quantifiés les plus courantes. Les coefficients de la matrice sont parcourus en zigzag, en partant de l'élément situé en haut à gauche de la matrice (composante continue) et en terminant sur celui situé en bas à droite de la matrice (fréquences horizontale et verticale maximales).

Le codage des coefficients de la matrice se termine lorsque tous les coefficients ont été parcourus ou bien lorsque le dernier coefficient non-nul est atteint (un caractère d'échappement spécifique est alors utilisé). Ainsi, plus il y a de coefficients nuls dans la matrice à l'issue de la quantification, plus la longueur du train binaire pour coder une image, c'est-à-dire le volume de données transmises est faible. En revanche, plus ce volume de données est faible, plus la quantité d'informations sur l'image à coder est faible, ce qui risque d'entraîner l'apparition d'artefacts de quantification visibles lors de la reconstruction de l'image par le décodeur.

La redondance temporelle est analysée par une opération de compensation de mouvement qui consiste à rechercher, par une opération de translation pour chaque bloc de l'image courante, le bloc le plus ressemblant situé dans une image de référence. L'analyse de la redondance temporelle conduit à déterminer un champ de vecteurs de translation, communément appelés vecteurs de mouvement, ainsi qu'une erreur de prédiction qui est la différence entre le signal de l'image courante et le signal de l'image prédite par compensation de mouvement. L'erreur de prédiction est alors analysée selon le principe de la redondance spatiale.

Le codage MPEG 2 est un codage de type prédictif. Il s'ensuit que le processus de décodage qui lui est associé doit être régulièrement réinitialisé afin de protéger le signal contre toute erreur de transmission ou toute rupture de signal due au basculement du décodeur d'un programme sur un autre.

A cette fin, la norme MPEG 2 prévoit que, périodiquement, les images doivent être codées en mode spatial, c'est-à-dire selon un mode exploitant la

redondance spatiale uniquement. Les images codées en mode spatial sont communément appelées images INTRA ou images I.

Les images codées en exploitant la redondance temporelle sont de deux types : il y a, d'une part les images construites par référence à une image temporellement antérieure et d'autre part, les images construites par référence à une image temporellement antérieure et à une image temporellement postérieure.

Les images codées construites par référence à une image temporellement antérieure sont communément appelées images prédites ou images P et les images codées construites par référence à une image temporellement antérieure et à une image temporellement postérieure sont communément appelées images bidirectionnelles ou images B.

Une image I est décodée sans faire référence à d'autres images qu'à elle-même. Une image P est décodée en faisant référence à l'image P ou I qui la précède. Une image B est décodée en faisant appel à l'image I ou P qui la précède et à l'image I ou P qui la suit.

La périodicité des images I définit un groupe d'images communément noté GOP (l'acronyme GOP est issu de l'anglais "Group Of Pictures").

Comme cela est connu de l'homme de l'art, à l'intérieur d'un même GOP, la quantité de données contenues dans une image I est généralement supérieure à la quantité de données contenues dans une image P et la quantité de données contenues dans une image P est généralement supérieure à la quantité de données contenues dans une image B.

Afin de gérer cette disparité des quantités de données selon le type d'images, un codeur MPEG 2 comprend un dispositif d'asservissement du débit des données.

Un tel dispositif d'asservissement permet le contrôle du flux des données codées. Il comprend une mémoire tampon, pour le stockage des données codées, et modélise l'état de la mémoire tampon duale d'un décodeur dit de référence. Le dispositif d'asservissement lisse le débit des données

sortant de la mémoire tampon de façon que la somme des données contenues dans le codeur et dans le décodeur de référence soit constante.

Ainsi, en fonction du type d'image (I, P ou B) s'agit-il de gérer le fait que les images I produisent un débit supérieur au débit moyen (typiquement égal à 3 à 6 fois le débit moyen), que les images P produisent un débit voisin du débit moyen et que les images B produisent un débit inférieur au débit moyen (typiquement égal à 0,1 à 0,5 fois le débit moyen).

Par ailleurs, lorsque les signaux vidéo codés d'un programme sont destinés à être multiplexés avec d'autres signaux de même type des autres programmes, il est connu de partager le débit global du multiplex entre les différents signaux. Cette configuration se retrouve, par exemple, lors d'une diffusion de programmes vidéo par satellite. Dans ce cas, le débit du multiplex peut atteindre 40 MB/s, ce qui autorise le transport de plusieurs programmes simultanément (10 programmes à 4 MB/s chacun par exemple)

Un programme vidéo issu d'un codage de type MPEG 2 à débit fixe présente, après décodage, une variation de la qualité de l'image restituée. Ceci provient de la variabilité de l'entropie du signal vidéo au cours du temps, cette variabilité se traduisant par une fluctuation du niveau de quantification des coefficients DCT.

Une allocation appropriée des débits associés aux programmes vidéo permet alors d'augmenter globalement la qualité de l'ensemble des programmes vidéo et/ou d'accroître le nombre de programmes diffusés. Selon l'art connu, le résultat de codage du GOP d'ordre k est alors utilisé comme prédiction de la difficulté de codage attendue pour le GOP d'ordre k+1.

Le coût de codage de chaque image est variable. C'est le rôle de la boucle de régulation de corriger les variations de flux dues aux variations de la complexité de l'image (définie plus loin) et de transmettre en sortie un flux de données correspondant à un débit de consigne. Cette régulation agit généralement sur le pas de quantification fonction du niveau de remplissage de la mémoire tampon en sortie du codeur (buffer en anglais). Cette mémoire

tampon permet d'absorber les écarts de débit dus aux variations de volume des images codées en fonction de leur type (I, P ou B) ainsi qu'aux écarts de débit dus au temps de réponse de la boucle de régulation.

Le flux de données en sortie d'un codeur d'une source vidéo peut être variable. Il peut en effet être intéressant, par exemple, dans le cas d'une transmission de plusieurs sources vidéo sur un seul canal, de répartir le débit "global" disponible de ce canal entre les différentes sources d'une manière dynamique, c'est-à-dire en fonction de l'évolution de la complexité des images à coder de chaque source vidéo. Ce procédé permet d'améliorer la qualité globale des images transmises, par rapport à ceux existants, par exemple, ceux affectant un débit fixe aux sources vidéo en fonction du type de programme transmis.

La figure 2 représente un ensemble d'une transmission utilisant un tel procédé. Il s'agit de transmission de plusieurs sources vidéo codées sur un seul canal de transmission à débit global constant. Ce débit correspond à sa capacité, par exemple, celle du canal d'un transpondeur. Les circuits de codage des sources vidéo (E'(i)) sont reliés à l'entrée d'un multiplexeur (2.a) dont la sortie fournit le flot de données à transmettre sur le canal. Ils sont également reliés à un circuit d'interface (14) qui transmet les données relatives à la complexité des sources vidéo vers un allocateur de débit (1.a) et reçoit les débits attribués à chaque source par cet allocateur de débit (1.a). Celui-ci, qui a donc pour rôle d'allouer un débit à chaque source (E'(i)), commande le circuit de multiplexage ou multiplexeur (2.a). Les informations sont échangées par l'intermédiaire d'un bus rapide auquel est abonné l'allocateur de débit (1.a) et le circuit d'interface (14). Un circuit de supervision (15) est relié à ce bus pour assurer la gestion de l'ensemble de transmission. De même, chaque encodeur E'(i) comprend un dispositif (10.a) de régulation de débit calculant la complexité attendue de la prochaine image à coder selon le principe ci-dessus.

Le multiplexage est effectué, par exemple, image par image, en fonction du débit alloué par l'allocateur de débit à chaque source vidéo

transmise sur le même canal. Ce débit est fonction d'un coefficient de complexité de la source vidéo prenant en compte le volume d'informations générées pour un pas de quantification donné. Ce coefficient est mesuré pour chaque GOP de chaque source vidéo. Il correspond, par exemple, au nombre de bits utilisés pour coder un GOP, le pas de quantification étant constant ou bien à un comptage normalisé de bits correspondant au nombre de bits multipliés par le pas de quantification si ce pas est variable. Le fonctionnement du procédé de codage en débit variable est assuré par la boucle de régulation qui utilise le buffer tampon du codeur de façon connue en soit.

L'exploitation d'encodeurs à débit variable associés à un multiplexage statistique fonction du débit de chaque source tel que décrit ci-dessus est connue et est un moyen d'optimiser la capacité du canal du transpondeur.

Cependant, ces systèmes de multiplexage statistique présentent de nombreux inconvénients. Notamment, on constate que pour un niveau de quantification donné, des séquences seront identiques à l'original alors que d'autres feront apparaître des dégradations. Cela traduit le fait que le niveau de quantification ne suffit pas à caractériser la qualité d'une image.

De même, les systèmes de multiplexage statistique de l'art antérieur tendent à affecter un pas de quantification identique à tous les encodeurs du système. Cependant, le fait de rendre le niveau de quantification homogène quelle que soit la source induit une mauvaise distribution de la qualité de codage. Ainsi, les séquences simples vont être fortement pénalisées et les séquences complexes vont prendre trop de débit.

La présente invention a donc pour objet de pallier les inconvénients de l'art antérieur en proposant un dispositif de régulation de débit d'un système de multiplexage statistique de flux d'images codées selon la norme de codage MPEG2 permettant d'homogénéiser le rendu de qualité subjective pour tous les programmes d'un système de multiplexage statistique quel que soit le type de séquence.

Ce premier but est atteint par le fait que le dispositif de régulation de débit, dans un système de multiplexage statistique de plusieurs flux d'images codées par des codeurs selon codage MPEG 2, est intégré à chaque codeur, le système de multiplexage statistique comprenant un dispositif d'allocation de débit utilisant la complexité calculée par le dispositif de régulation de débit, chaque codeur de chaque flux comprenant un premier dispositif de codage réalisant un premier codage spatial de toutes les images à coder pour déterminer le coût de codage de chaque image si elle devait être codée spatialement et en avance par rapport à leur deuxième codage effectif par un deuxième dispositif de codage, le dispositif de régulation étant caractérisé en ce que des moyens de mémorisation mémorisent la complexité de la dernière image codée spatialement par le premier dispositif de codage, la complexité du dernier groupe d'images effectivement codées par le deuxième dispositif de codage, le dernier débit alloué par le dispositif d'allocation de débit, le dispositif de régulation de débit de chaque codeur déterminant la valeur de complexité pour la prochaine image codée par le deuxième dispositif de codage, par l'intermédiaire d'un programme préenregistré exécuté par des circuits intégrés et utilisant les valeurs mémorisées, le dispositif de régulation de débit comprenant également des moyens de transmission de cette valeur de complexité vers l'allocateur de débit pour la détermination du prochain débit de consigne envoyé au codeur.

Selon une autre particularité, le pas de quantification utilisé par le dispositif de régulation de débit pour déterminer la complexité de l'image à coder est le pas de quantification maximum entre les trois derniers pas de quantification déterminés par le dispositif de régulation de débit, lors du codage par le premier dispositif de codage.

Selon une autre particularité, le dispositif de régulation de débit comprend un module de détermination de la moyenne des complexités envoyées par le dispositif de régulation à l'allocateur de débit pour un nombre déterminé d'images précédentes, puis un module de détermination, par

l'intermédiaire d'un comparateur, par la valeur maximale entre cette moyenne et la valeur de la dernière complexité calculée et mémorisée, cette valeur correspondant à la valeur transmise par le dispositif de régulation de débit vers l'allocateur de débit par les moyens de transmission.

Selon une autre particularité, le dispositif de régulation de débit comprend des premiers moyens de calcul de la racine carré de la valeur de la complexité préalablement calculée par le programme, cette valeur correspondant à la valeur transmise par le dispositif de régulation de débit vers l'allocateur de débit par les moyens de transmission.

Selon une autre particularité, le dispositif de régulation de débit comprend des seconds moyens d'effectuer un seuillage minimal et maximal de la valeur de la complexité.

Selon une autre particularité, le seuillage de la complexité est réalisé par un comparateur qui détermine la valeur minimum entre, d'une part le seuil maximum et d'autre part, le maximum entre le seuil minimum et la dernière complexité calculée qui est multipliée par un coefficient déterminé.

Selon une autre particularité, les premier et second moyens sont constitués respectivement par un module de programme enregistré sur les moyens de mémorisation.

Selon une autre particularité, le dispositif de régulation de débit est connecté à un dispositif de pré-traitement comprenant au moins un dispositif de mesure pour détecter un changement de scène et/ou un fondu enchaîné en effectuant une analyse de la corrélation entre deux images successives (inter corrélation) entre la ligne de pixel d'une image et la ligne de même rang de l'image suivante, ou une analyse de la corrélation à l'intérieur d'une image (intra corrélation) entre les lignes d'une même image, le résultat de cette analyse est transmis au dispositif de régulation de débit qui comprend un moyen de détermination d'une valeur de complexité adaptée au changement de scène et/ou au fondu enchaîné, cette valeur correspondant à la valeur

transmise par le dispositif de régulation de débit vers l'allocateur de débit par les moyens de transmission.

Selon une autre particularité, le dispositif de pré-traitement qui comprend un dispositif de mesure de l'intra corrélation, après avoir détecté successivement une décorrélation puis une recorrélation à l'intérieur d'une image (intra corrélation), envoie un signal au dispositif de régulation de débit, qui est analysé, comme la détection d'un fondu enchaîné, et le dispositif de régulation de débit affecte pour un nombre déterminé d'images à coder suivantes, une valeur de complexité correspondant au seuil maximum, le nombre d'images à coder suivantes correspondant au nombre d'images contenues dans un groupe d'images augmentées d'une image, cette valeur correspondant à la valeur transmise par le dispositif de régulation de débit vers l'allocateur de débit par les moyens de transmission.

Selon une autre particularité, le dispositif de pré-traitement qui comprend un dispositif de mesure de l'inter corrélation, après avoir détecté une forte décorrélation entre deux images successives (inter corrélation), envoie un signal au dispositif de régulation de débit représentatif de la mesure du niveau de décorrélation entre les deux images, ce signal étant analysé par le dispositif de régulation de débit comme la détection d'un changement de scène, pour évaluer la complexité qui sera appliquée à un nombre déterminé d'images suivantes, en fonction du niveau de décorrélation calculé par le dispositif de pré-traitement.

Un deuxième objet de l'invention consiste en un procédé de régulation de débit d'un codeur d'un système de multiplexage statistique permettant de garantir un rendu de qualité subjective identique pour tous les programmes du système de multiplexage statistique quel que soit le type de séquence.

Ce but est atteint par le fait que le procédé de régulation de débit de chaque codeur d'un système de multiplexage statistique, le système de multiplexage statistique comprenant un dispositif d'allocation de débit connecté à chaque dispositif de régulation de débit de chaque codeur, chaque codeur

comprenant un premier dispositif de codage réalisant le codage spatial et avec un temps d'avance de toutes les images codées effectivement postérieures par un deuxième dispositif de codage, le procédé comprenant :

- une étape de mémorisation sur des moyens de mémorisation du dispositif de régulation de débit de chaque encodeur de valeurs représentatives de la complexité de la dernière image codée par le premier dispositif de codage, de la complexité du dernier groupe d'images codées par le deuxième dispositif de codage, et du dernier débit reçu de l'allocateur de débit par le dispositif de régulation,

- une étape de calcul de l'estimation de la complexité de la prochaine image codée par le deuxième dispositif de codage à partir des valeurs précédemment mémorisées,

- une étape de transmission de la valeur estimée de complexité de la prochaine image codée par le deuxième dispositif de codage vers le dispositif d'allocation de débit.

Selon une autre particularité, le procédé de régulation de débit comprend :

- une deuxième étape de calcul, déterminant la complexité de la prochaine image codée par le deuxième dispositif de codage comme la racine carré de la complexité déterminée par la première étape de calcul.

Selon une autre particularité, le procédé de régulation de débit comprend :

- une étape d'analyse d'une mesure de la corrélation entre deux images successives permettant de déterminer la présence d'un changement de scène et une grandeur représentative du niveau de décorrélation entre les deux images,

- une étape de transmission vers le dispositif de régulation de débit d'un signal représentatif de la détection d'un changement de scène et une grandeur représentative du niveau de décorrélation entre les deux images,

- une étape d'évaluation, par le dispositif de régulation de débit, de la valeur de la complexité d'un nombre déterminé d'images postérieurement codées par le deuxième dispositif de codage, en fonction de la grandeur représentative du niveau de décorrélation entre les deux images,

- une étape de transmission, par le dispositif de régulation de débit, de la valeur de la complexité pour le nombre déterminé d'images, vers l'allocateur de débit.

Selon une autre particularité, le procédé de régulation de débit comprend :

- une étape d'analyse de la mesure de la corrélation entre les lignes d'une même image pour déterminer la présence d'un fondu enchaîné dans une séquence d'images,

- une étape de transmission d'un signal représentatif de la détection d'un fondu enchaîné vers le dispositif de régulation de débit et correspondant à la détection d'une décorrélation puis d'une recorrélation entre une ligne de pixel d'une image et la ligne de rang directement supérieur de la même image,

- une étape de transmission, du dispositif de régulation de débit, vers l'allocateur de débit, d'une valeur de la complexité pour un nombre déterminé d'images postérieurement codées par le deuxième dispositif de codage, la valeur de la complexité correspondant au seuil maximum de complexité admissible par l'allocateur de débit.

D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description ci-après faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente un diagramme d'un système de multiplexage statistique utilisant le dispositif de régulation de débit selon l'invention.

- la figure 2 représente un diagramme d'un système de multiplexage statistique de l'art antérieur.

- la figure 3 représente un diagramme des messages échangés dans un système de multiplexage statistique.

- la figure 4 représente l'algorithme du programme de calcul de la complexité du dispositif de régulation selon l'invention,

- la figure 5 représente le logigramme du programme de détection de changement de scène et de fondu enchaîné du dispositif de régulation de débit selon l'invention .

Avant de décrire en détail la présente invention, il convient de revenir sur le principe du codage MPEG 2 dans un encodeur et sur le principe d'allocation de débit dans un système de multiplexage statistique de l'art antérieur.

A l'entrée d'un encodeur, il y a un système de stockage des images avant compression. Ces images stockées sont préalablement analysées. Chaque fois qu'une image sort pour être codée, une image est stockée. Pendant ce stockage, des opérations sont effectuées. Ces opérations consistent notamment à mesurer la différence entre images et la différence entre blocs d'une image. C'est dans cette phase de pré-traitement que l'on définit des formes qui caractérisent le mouvement.

Une image vidéo provenant d'une source est constituée d'une pluralité de blocs appelés par l'homme de métier Macroblocs. Chaque Macrobloc représente une matrice de 16*16 pixels. Une image au format NTSC comporte 1350 Macrobloc pour 30 images par seconde. Une image au format PAL/SECAM comporte 1620 Macrobloc pour 25 images secondes de façon à représenter sensiblement le même volume de données que les images au FORMAT NTSC. Chaque bloc entre dans un module de transformation DCT où l'on transforme la représentation spatiale représentée par chaque Macrobloc en une représentation spectrale ou l'on ignore la phase. L'image ainsi transformée est ensuite quantifiée, par un étage de quantification des coefficients de la transformation DCT. Puis l'image quantifiée est codée par l'intermédiaire d'un codage à longueur variable (VLC : " Variable Length Coding " du type codage de HUFFMANN). On génère en sortie un train binaire comprenant une succession d'informations décrivant chaque Macrobloc de l'image, chaque

coefficient de la matrice issue de la quantification est codé sur 8 bits. La réduction de coût, c'est-à-dire de la taille du train binaire, est réalisée par l'intermédiaire de la quantification. En effet, par quantification, certains coefficients (Aij avec 1<i<16 et 1<j<16) de la matrice 16*16 DCT se retrouvent nuls. En particulier, les coefficients de la matrice pour les indices (i, j) élevés dans les dimensions horizontales (i) et verticales (j), puisque ces coefficients correspondent à des fréquences élevées. Or, un signal vidéo est essentiellement constitué de signaux basse fréquence. La transformation DCT concentre l'information utile sur les coefficients de la matrice à indices de basses valeurs.

Si le débit en sortie d'un encodeur est constant, on agit sur le niveau de quantification de façon à s'assurer que le coût généré en sortie soit conforme à la consigne de débit. Pour cela, le codeur utilise un module de régulation de débit, qui, en observant le coût généré de Macrobloc en Macrobloc, ajuste le niveau de quantification pour qu'en final le débit sur l'image soit conforme à la consigne. Pour un débit donné, la quantité d'informations, ou la richesse spectrale des images va induire le besoin de faire varier le pas de quantification pour que le coût après codage soit fixe. Ceci signifie que des images complexes sont quantifiées sévèrement pour satisfaire des contraintes de débit faible, avec pour conséquence d'entraîner des artefacts visibles de quantification. Pour concrétiser cette mesure des images incidentes, on utilise une relation simple

(a) $X = C \times Q$

Dans cette formule, X est la complexité de l'image à coder, C est son coût et Q le pas de quantification moyen utilisé pour le codage de l'image. En première approximation, cette grandeur est constante pour des faibles variations de quantification. En effet, en augmentant le niveau de quantification, on diminue le coût de codage. Ainsi, on obtient une caractérisation de la source indépendamment du niveau de quantification. Cette mesure de complexité

constitue la mesure de base utilisée dans le principe d'allocation du multiplexage statistique.

La figure 3 représente un diagramme des messages échangés dans un système de multiplexage statistique. Chaque encodeur E(i), pour i allant de 1 à N, va émettre vers l'allocateur de débit (1) une mesure de complexité Xi calculée par la formule de base (a). Ce calcul est réalisé dans l'art antérieur par un dispositif de régulation (10.a, fig. 2) de débit intégré à chaque encodeur E'(i). Le dispositif de régulation de débit (10.a, fig. 2) transmet cette valeur calculée de la complexité à l'allocateur. L'allocateur (1) collecte les complexités Xi de chaque encodeur E(i) et applique une règle de redistribution proportionnelle aux requêtes.

$$R_i = \frac{X_i}{\sum_{j=1}^{N} X_j} \cdot MR$$

Dans cette formule, Ri est le débit alloué à l'encodeur E(i) par l'allocateur (1) de débit en réponse à la requête Xi de l'encodeur E(i). La somme des débits alloués correspond à la contrainte MR de débit du canal. En régime stabilisé, cela signifie que le débit n'évolue plus, c'est-à-dire que les variations du débit de chaque encodeur (E(i)) sont faibles, et donc que les programmes codés par les encodeurs E(i) ont le même niveau de quantification. Cette hypothèse n'est valable que si la qualité de l'image est déterminée par un niveau de quantification et que le niveau de quantification garantit, quelle que soit l'image codée, un rendu de qualité subjective constant.

Ce principe est peu pertinent. En effet, un programme de type sport peut être quantifié plus sévèrement qu'un programme simple (plan fixe, par exemple).

Plus précisément, un plan fixe comprend peu de mouvement, des zones homogènes mais des détails fins. Pour ce type de plan, l'oeil a tendance à devenir sensible au moindre effet de quantification sur les zones uniformes. En conséquence, pour que, subjectivement, le rendu de codage soit

satisfaisant, il faut un niveau de quantification très faible pour ne pas annuler ou ne pas diminuer la précision de codage des coefficients de la matrice, afin de ne pas introduire d'effet de quantification. A l'inverse, pour une scène de sport où il y a beaucoup de mouvement, il y a énormément de détail dans la scène, l'œil n'a pas le temps d'intégrer tous les détails, ce qui fait que l'on peut quantifier plus sévèrement avec un niveau de quantification plus élevé, pour annuler un plus grand nombre de coefficients de la matrice, sans qu'il y ait d'effet de quantification perceptible. Or, en appliquant en régime de stabilité un même niveau de quantification pour tous les types d'images, il en résulte nécessairement une différence ou dispersion de la qualité entre des images simples et des images complexes.

Le principe de l'invention consiste à introduire une modification de la fonction de complexité en la rendant dépendante non pas directement du pas de quantification, comme dans l'art antérieur, mais d'une mesure représentant la qualité de codage qui dépend du niveau de quantification.

Le principe de calcul de la complexité de la prochaine image à coder, selon l'invention utilise les informations issues d'un premier codage réalisé pour toutes les images destinées à être codées selon la norme MPEG 2. Ce premier codage est réalisé spatialement pour toutes les images, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de compensation en mouvement ou de recherche de redondance temporelle. Ainsi, en sortie de ce premier codage, il n'y a que des images I. De plus, ce premier codage est réalisé avec plusieurs images d'avance, ce qui signifie que lorsqu'une image est codée par le premier codage, elle ne sera codée effectivement en utilisant une structure quelconque de groupe d'images conforme à la norme MPEG 2, que quelques images plus tard, par exemple 2 images plus tard. Ainsi, le principe de calcul de l'invention permet d'avoir accès avec une avance, par exemple, de deux images, au coût de codage et au pas de quantification de chaque image si elle devait être codée selon le mode spatial.

Selon le principe de l'invention, la complexité $X_{st}(n)$ de la prochaine image effectivement codée, calculée par chaque encodeur d'un système de multiplexage statistique utilisant le principe de calcul de complexité selon l'invention est définie par la formule (b) :

$$X_{st}(n) = Q^{1st}{}_{I}(n+k).R(n-1) \qquad (b)$$

Dans cette formule, n est une grandeur temporelle, par exemple un indice de trame ou image vidéo, R(n-1) est le dernier débit alloué à l'encodeur par l'allocateur de débit (1) et $Q^{1st}{}_{I}(n+k)$ le pas de quantification pour l'image qui sera codée postérieurement par le premier codage et est déterminé par la formule (c) :

$$Q^{1st}{}_{I}(n) = X^{1st\,-}{}_{I} / T_I(n) \qquad (c)$$

Dans cette formule, $X^{1st\,-}{}_{I}$ est la complexité de la dernière image codée spatialement en avance par rapport à l'image courante. Et $T_I(n)$ est le coût de codage attendu pour la prochaine image codée spatialement en avance par rapport à l'image courante et est déterminé par la formule (d) :

$$T_I(n) = \frac{X^{1st\,-}_{I}}{X^{-}_{GOP}} \cdot \frac{N}{f_{pict}} \cdot R(n-1) \cdot G_{3,2}(n) \qquad (d)$$

Dans cette formule, X^{-}_{GOP} est la complexité du dernier groupe d'images codées et est déterminé par la formule (e) :

$$X^{-}_{GOP} = X^{1st-}_{I} + N_P Z_P X^{-}_{P} + N_B Z_B X^{-}_{B} \qquad (e)$$

Dans cette formule, N_P est le nombre d'images P dans le groupe d'images, N_B est le nombre d'images B dans le groupe d'images, et Z_p et Z_B sont des coefficients de pondération permettant de donner plus ou moins de poids aux images P ou B selon leur importance dans le procédé de codage à titre d'exemple $Z_p = 1.1$, et $Z_B = 0.75$.

Dans la formule (e), X^{-}_{P} et X^{-}_{B} sont les complexités des dernières images P et B, respectivement, et calculées suivant le principe de la formule (a) lors du codage effectif selon la structure de GOP conforme à la norme MPEG2.

Dans la formule (d), N est le nombre d'images d'un groupe d'images et est égal à :

$1 + N_P + N_B$

Dans la formule (d) Rate (n-1) est la dernière consigne de débit reçu par le codeur et exprimée en nombre de bits par seconde, fpict est la fréquence des images par seconde, G3 :2 (n) est un coefficient qui est fonction du nombre de trames redondantes sur deux images consécutives et est en règle générale compris entre 1,0 et 1,5.

La figure 1 représente un diagramme d'un système de multiplexage statistique utilisant le dispositif de régulation de débit selon l'invention.

Afin d'appliquer le principe de calcul décrit précédemment, chaque encodeur E(i) (ou codeur) du système de multiplexage statistique comprend un dispositif de pré-traitement (40), permettant l'analyse d'un flux (41) entrant d'images numérisées selon le format normalisé 4.2.2 (norme CCIR601). Ce dispositif (40) est connu en soi et comprend une mémoire tampon permettant de stocker un certain nombre d'images entrantes et de réorganiser le flux des images en vue du codage. Ce dispositif (40) de pré-traitement est connecté premièrement par une première liaison (42) à un dispositif (50), connu en soi, de recherche des vecteurs de mouvement pour chaque image permettant d'exploiter la redondance temporelle des images. Deuxièmement, le dispositif (40) de pré-traitement est connecté par une deuxième liaison (46) à un premier dispositif (20) de codage réalisant le premier codage en mode spatial en avance par rapport au codage effectif de l'image. Le dispositif (40) de pré-traitement fournit à ce premier dispositif (20) de codage, les images numérisées reçues en entrée. Troisièmement, le dispositif (40) de pré-traitement est connecté par une troisième liaison (47) à un deuxième dispositif (30) de codage réalisant un deuxième codage respectant la structure déterminée de groupes d'images conforme à la norme MPEG 2. Les deux dispositifs (20, 30) de codage comprennent chacun, de manière connue un module (21, 31) réalisant la transformation cosinus discrète ou DCT, un module (22, 32) réalisant

l'opération de quantification des coefficients issus de la DCT, et un module (23,33) réalisant l'opération VLC, de codage à longueur variable. De façon remarquable, le dispositif (40) de pré-traitement fournit des images I(n) de rang n au deuxième dispositif (30) de codage et simultanément des images I(n+k) de rang n+k, où k est au minimum égal à 2 au premier dispositif (20) de codage. Ainsi, les images entrant dans le premier dispositif (20) de codage sont codées spatialement avec un temps d'avance par rapport à leur codage effectif par le deuxième dispositif (30) de codage.

Le module (32) de quantification du deuxième dispositif (30) de codage est connecté à un module (34) réalisant une quantification inverse lui-même relié à un module (35) réalisant une transformation DCT inverse de façon à reconstruire l'image par un module de reconstruction (36) comprenant notamment une mémoire. L'image reconstruite servira de support à l'estimation de mouvement réalisée par l'estimateur de mouvement (50). Cette image reconstruite est transmise par une liaison (51) du module de reconstruction (36) à l'estimateur de mouvement (50). Le module de reconstruction (36) reçoit également, par une liaison (54), les vecteurs de mouvements des images précédentes, définis par l'estimateur (50) de mouvement.

La liaison (47) entre le dispositif (40) de pré-traitement et le deuxième dispositif (30) de codage est réalisée au travers d'un dispositif (60) différentiateur qui reçoit en entrée les images sortant du dispositif de pré-traitement (40) et, par une liaison (52), l'image de référence stockée dans la mémoire (36). Ce dispositif (60) différentiateur réalise la différence, macrobloc par macrobloc entre les images provenant du dispositif de pré-traitement (40) et l'image de référence et transmet sur sa sortie connectée au deuxième dispositif (30) de codage cette différence qui sera codée selon le principe décrit précédemment (DCT, quantification, VLC). La différence n'est effectuée par le dispositif (60) différenciateur que pour les images P ou B.

L'estimateur de mouvement (50) est également connecté par l'intermédiaire d'une liaison (53) au deuxième dispositif (30) de codage. Cette

liaison permet à l'estimateur de mouvement (50) de transmettre les vecteurs de mouvement résultant de la comparaison de l'image de référence avec les images P ou B codées par le deuxième dispositif (30) de codage.

Le deuxième dispositif (30) de codage fournit en sortie un flux (300) d'images codées selon la norme MPEG 2 vers un multiplexeur (2). Le premier dispositif (20) de codage est connecté à un dispositif (10) de régulation de débit. Ce dispositif (10) de régulation de débit constitue l'élément de chaque codeur E(i) qui permet d'appliquer le principe de l'invention défini précédemment. Ce dispositif (10) analyse le flux d'images codées spatialement provenant du premier dispositif (20) de codage par la liaison (24) et détermine, par l'intermédiaire d'un programme (P1) préenregistré, le coût CI(n+k) de codage, ainsi que le pas de quantification QI(n+k) pour chaque image codée par le premier dispositif (20) de codage. L'indice n+k indique qu'il s'agit du coût de l'image reçue k images plus tôt que l'image à coder, avec k au moins égale à 2. De même, afin de réaliser de manière connue une boucle de régulation, le dispositif (10) de régulation de débit est également connecté, d'une part au module (32) de quantification du deuxième dispositif (30) de codage, par une liaison (132), pour fournir à ce module (32) de quantification le niveau de quantification QS(n) approprié pour le codage de l'image courante, et d'autre part à la sortie de ce deuxième dispositif (30) de codage pour recueillir une information sur le coût CS(n) de codage des images envoyées vers le multiplexeur (2). Le dispositif (10) de régulation est également connecté par un bus (11) bidirectionnel au dispositif (1) d'allocation de débit ou allocateur de débit du système de multiplexage statistique, pour d'une part envoyer vers l'allocateur pour chaque image une requête contenant la valeur de la complexité X_{st} attendue et calculée selon la formule (b) pour cette image, par l'intermédiaire de moyens de transmission, et d'autre part pour recevoir de l'allocateur, pour chaque image, la consigne de débit R(i) correspondant à la requête précédemment envoyée.

Pour calculer la valeur de la complexité selon la formule (b), le dispositif (10) de régulation de débit comprend, par exemple, un programme P2 préenregistré dans une mémoire (12) pour calculer la valeur de la complexité selon les formules (b) à (d) à partir des informations relatives à la complexité X^{1st}_{I} de la dernière image codée par le premier dispositif (20) de codage, les complexités (X_P^-, X_B^-) de la dernière image P et de la dernière image B codées par le deuxième dispositif de codage, et la dernière consigne de débit Rate(n-1) reçue de l'allocateur de débit. Ces informations sont mémorisées, par exemple, dans la mémoire (12). Le pas de quantification de l'image codée par le premier (20) dispositif de codage utilisé pour calculer la complexité de la prochaine image effectivement codée, est celui pour l'image qui sera codée k images plus tard, par le deuxième dispositif (30) de codage, où k est par exemple égal à 2. Les valeurs citées précédemment sont, par exemple, collectées par un programme préenregistré sur les moyens (12) de mémorisation du dispositif de (10) régulation et stockées sur ces mêmes moyens (12) ou sur des mémoires différentes.

Le programme (P2) calcule la complexité X^{st} définie par la formule (b) et fonctionne selon l'algorithme de la figure 4. Ce programme comprend, par exemple, une pluralité de modules exécutés par un circuit intégré.

Un premier module (M1) mémorise la valeur de la complexité X^{1st}_{I} de la dernière image codée par le premier dispositif (20) de codage.

Un deuxième module (M2) calcule par l'algorithme de la formule (e), puis mémorise la valeur de la complexité X^-_{GOP} globale du dernier groupe d'images (GOP) codées par le deuxième dispositif (30) de codage en utilisant, d'une part les valeurs de complexité (X^-_P, X^-_B) des dernières images P et B codées et mémorisées, par exemple, dans la mémoire (12) du dispositif de régulation de débit, et d'autre part les constantes N_P, Z_P, N_B, Z_B, préenregistrées, par exemple, dans la mémoire (12) du dispositif de régulation de débit, caractérisant la structure du GOP. A partir de cette valeur de

complexité X^{-}_{GOP}, de la complexité X^{1st-}_{I} de la dernière image codée par le premier dispositif (20) de codage, un troisième module (M3) du programme (P2), calcule, puis mémorise, par exemple dans la mémoire (12) du dispositif (10) de régulation de débit, la valeur $T_I(n)$ définie par la formule (d) et correspondant au coût de codage de la prochaine image codée par le premier dispositif (20) de codage. Les constantes N, fpict et G3 :2(n) sont, par exemple, mémorisées dans la mémoire (12) du dispositif de régulation de débit. De même, le dernier débit R(i)) alloué par l'allocateur (1) de débit est également collecté puis mémorisé dans la mémoire (12) du dispositif (10) de régulation de débit par un quatrième module (M4) du programme (P2) de calcul de la complexité.

Un cinquième module (M5) du programme (P2) de calcul de la complexité calcule, par la formule (c), le pas ou niveau de quantification Q^{1st}_{I} prévu pour le codage de la prochaine image par le premier dispositif (20) de codage à partir des valeurs $T_I(n)$ et X^{1st-}_{I} précédemment calculées et/ou mémorisées par le premier (M1) et troisième (M3) module. Enfin, un sixième module (M6) calcule la valeur de la complexité X^{st} à partir des valeurs du pas de quantification Q^{1st}_{I} calculées et mémorisées par le cinquième module et du dernier débit R(i) collecté et mémorisé par le quatrième module (M4). Une fois calculée, cette valeur X^{st} de complexité est transmise, par le dispositif (10) de régulation de débit, par des moyens de transmission, vers l'allocateur (1) de débit.

Ainsi, ce calcul particulier de la complexité X^{st} utilisée par le dispositif de régulation (10) de débit dans la requête à l'allocateur de débit (1) permet de fournir à l'allocateur de débit (1) une estimation de la complexité de la prochaine image à coder par le deuxième dispositif (30) de codage avec un temps d'avance. De même la formule (b) permet, par exemple, d'introduire des corrections afin d'affiner la détermination de la complexité.

Dans une deuxième variante de réalisation du dispositif (10) de régulation de débit, un premier ajustement est, par exemple, utilisé de façon à limiter les variations de la complexité pour les faibles valeurs du niveau de quantification. En effet, lorsque le niveau de quantification passe, par exemple, de la valeur 1 à la valeur 2, selon la formule (b), la valeur de la complexité va donc doubler. En réponse à cette requête de complexité, l'allocateur va donc fournir une valeur de débit double. Or, ce débit n'est pas nécessairement pertinent par rapport au contenu de l'image dont le niveau de quantification est 2. Par conséquent, afin d'éviter une trop forte variation du débit alloué en réponse à une requête de complexité, la valeur du niveau de quantification $Q^{1st}_{I}(n+k)$ de la formule (b), par exemple pour k égal 2, est remplacée par :

$$Q_{mst}(n) = MAX(Q^{1st}_{I}(n) , Q^{1st}_{I}(n+1) , Q^{1st}_{I}(n+2))$$

Ainsi la formule (b) devient :

$$X_{mst}(n) = Q_{mst}(n).R(n-1)$$

Afin de réaliser ce calcul, le programme P2 de calcul de la complexité du dispositif de régulation (10) selon l'invention comprend un septième module (M7) permettant de stocker les valeurs du pas de quantification des images précédemment codées par le premier dispositif (20) de codage, par exemple, dans la mémoire (12) du dispositif (10) de régulation de débit. Les pas de quantification sont ceux calculés par le cinquième module. Ce septième module (M7) réalise également une comparaison entre ces pas de quantification afin de déterminer et mémoriser la valeur maximale Q_{mst}. Le sixième module (M6) est modifié pour utiliser cette valeur lors de sa mise en œuvre pour réaliser le calcul de la complexité X_{mst} selon la formule précédente par l'utilisation du résultat Q_{mst} et non plus selon la formule (b) initiale.

Dans l'exemple ci-dessus, seuls les pas de quantification des trois dernières images codées par le premier dispositif de codage sont mémorisées. Cependant il est possible de prévoir un nombre différent de pas de quantification.

Dans une troisième variante de réalisation du dispositif (10) de régulation de débit, un deuxième ajustement est, par exemple, utilisé pour compenser les phénomènes d'oscillation lors de l'allocation du débit, cette oscillation étant due au temps de réaction de l'allocateur de débit.

En effet, le principe d'allocation de débit est un principe prédictif, par conséquent, prenons l'exemple où à un instant t une requête avec une valeur forte de complexité est envoyée par le dispositif (10) de régulation de débit. En retour, l'allocateur de débit (1) va répondre à un instant t+t0 en allouant un débit important. Si à cet instant t+t0 l'image courante possède, en fait, une faible complexité, le débit ne sera pas adapté, et le dispositif (10) de régulation de débit va corriger cette différence en envoyant une requête avec une faible complexité. Pour éviter ces fluctuations, la valeur de la complexité envoyée par le dispositif (10) de régulation de débit selon l'invention est :

$$X_{dmst}(n) = \text{MAX}\left[X_{mst}(n), \frac{1}{g}\sum_{i=0}^{i=g-1} X_{mst}(n-i)\right] \qquad \text{(b.1)}$$

Pour réaliser ce calcul, le programme P2 de calcul de la complexité du dispositif (10) de régulation de débit selon l'invention comprend un huitième module (M8) permettant de stocker les dernières valeurs de complexité (X_{st} ou X_{mst}) calculées par le sixième module (M6) non modifié ou par le sixième module (M6) modifié selon la deuxième variante, par exemple, dans la mémoire (12) du dispositif (10) de régulation de débit. Ce huitième module (M8) réalise également le calcul d'une moyenne des valeurs de complexité mémorisées et une comparaison de la dernière valeur de complexité avec cette moyenne pour déterminer la plus grande des deux valeurs qui sera la valeur X_{dmst} envoyée dans la requête destinée à l'allocateur de débit (1) par les moyens de transmission du dispositif (10) de régulation de débit. La valeur g est déterminée en fonction du temps de réaction de l'allocateur de débit (1) pour répondre à une requête du dispositif de régulation de débit selon l'invention et est préférentiellement égale à 8.

Dans la formule (b.1), le premier ajustement est également pris en compte, c'est-à-dire que les valeurs de complexité mémorisées sont celles calculés par le sixième module modifié. Lorsque les valeurs de complexité sont celles calculés par le sixième module non modifié, la formule (b.1) devient :

$$X_{dst}(n) = MAX\left[X_{st}(n), \frac{1}{g}\sum_{i=0}^{i=g-1} X_{st}(n-i)\right] \qquad (b.1.2)$$

Comme expliqué précédemment, il est connu que les images ayant une forte complexité peuvent être quantifiées sévèrement puisque la vision humaine ne permet pas d'intégrer tous les détails d'une image complexe. Au contraire, la vision est sensible aux effets de quantification sur une image de complexité faible. Pour corriger cet aspect psychovisuel, un troisième ajustement est réalisé sur la valeur de la complexité.

$$X_{pdmst}(n) = sqrt(X_{dmst}(n)) \qquad (b.2)$$

Dans cette formule, la fonction sqrt() correspond à la fonction racine carrée. Cette fonction est réalisée par un neuvième module (M9) du programme P2 de calcul de la complexité.

Dans la formule précédente, la complexité sur laquelle est appliquée la racine carrée est la complexité issue du calcul réalisé par le huitième module (M8) et le sixième module (M6) modifié. Cependant, il est possible d'appliquer ce troisième ajustement à la complexité calculée par le huitième module (M8) et le sixième module (M6) non modifié et dans ce cas la formule b.2 devient :

$$X_{pdst}(n) = sqrt(X_{dst}(n)) \qquad (b.2.1)$$

ou encore ce troisième ajustement est appliqué à la complexité calculée par le huitième module (M8) et le sixième module (M6) modifié et dans ce cas la formule b.2 devient :

$$X_{pmst}(n) = sqrt(X_{mst}(n)) \qquad (b.2.2)$$

ou enfin ce troisième ajustement est appliqué à la complexité calculée par le huitième module (M8) et le sixième module (M6) non modifié et dans ce cas la formule b.2 devient :

$$X_{pst}(n) = sqrt(X_{st}(n)) \qquad (b.2.3)$$

Afin de respecter les seuils maximum et minimum de complexité admissibles par l'allocateur (1) de débit, la valeur de la complexité est, par exemple, modifiée par un quatrième ajustement défini par la formule suivante :

$$X_{cpdmst}(n) = MIN(S_{max}, MAX(S_{min}, K.X_{pdmst}(n))) \qquad (b.3)$$

Les valeurs S_{max} respectivement S_{min} sont paramétrables et représentent le seuil maximum respectivement le seuil minimum de la complexité admissible par allocateur. A titre d'exemple, S_{max} est égal à 100 et S_{min} est égale à 1, et la valeur K est égale à 0.01.

Afin d'appliquer ce quatrième ajustement, le programme P2 de calcul de complexité selon l'invention comprend un dixième module (M10) qui permet de réaliser une comparaison selon la formule b.3 entre les valeurs de S_{min} et S_{max} mémorisées, par exemple dans la mémoire (12) du dispositif de régulation de débit dans laquelle sont stockées les valeurs de S_{min} et S_{max} et un programme préenregistré comprenant un module de comparaison, et la valeur de la complexité calculé par le neuvième module selon la formule b.2. Cependant, la complexité utilisée peut être calculée selon l'une quelconque des formules b, b.1, b.2.1, b.2.2, b.2.3

Les quatre ajustements précédents permettent d'ajuster la valeur de la complexité envoyée par le dispositif (10) de régulation de débit selon l'invention vers l'allocateur (1) de débit lorsque le flux d'image est stabilisé, c'est-à-dire lorsqu'il existe une certaine homogénéité ou continuité dans le flux d'images à coder. Ce mode de fonctionnement est le mode stabilisé de fonctionnement du dispositif (10) de régulation selon l'invention.

Ce dispositif (10) de régulation selon l'invention peut comprendre également des éléments permettant de gérer les discontinuités du flux d'images à coder, c'est-à-dire les changements de scène (scene cut) et les fondus enchaînés (fading) survenant dans une séquence d'image. Il est connu pour l'homme de métier que ces deux phénomènes transitoires sont critiques pour un encodeur E(i). En effet, le codage selon la norme MPEG 2 est prédictif. Par conséquent, un changement de scène ou un fondu enchaîné perturbe les

mécanismes de prédiction. Il est également connu que ces deux phénomènes transitoires demandent beaucoup de débit pour conserver une qualité d'image satisfaisante.

Le principe de l'invention consiste à prévoir ces phénomènes transitoires et à demander en conséquence un débit adapté à ces phénomènes. La détection de ces phénomènes est effectuée, par exemple, par le dispositif (40) de pré-traitement de l'encodeur. Comme expliqué précédemment, le dispositif (40) de pré-traitement est capable d'effectuer une mesure de la corrélation (inter corrélation) entre deux images successives et respectivement entre les lignes d'une même image (intra corrélation). Ces mesures sont, par exemple, réalisées par un premier dispositif (400, 401) de mesure d'inter corrélation et respectivement un deuxième dispositif de mesure d'intra corrélation. A partir des mesures réalisées par ces deux dispositifs (400, 401), il est possible de détecter un changement de scène ou un fondu enchaîné.

La détection du fondu enchaîné est réalisée par le deuxième dispositif (401) de mesure et correspond à la détection d'une brusque variation de l'intra corrélation. L'intra corrélation correspond à la somme ligne à ligne de la différence entre un premier pixel d'une première ligne et un deuxième pixel de la ligne adjacente, le deuxième pixel ayant la même position horizontale sur cette ligne que le premier pixel sur la première ligne. Ainsi, la présence d'un fondu enchaîné correspond une diminution rapide puis à une augmentation rapide de l'intra corrélation. Le deuxième dispositif (401) de mesure comprend un programme permettant de détecter une diminution rapide puis à une augmentation rapide de l'intra corrélation. Le deuxième dispositif (401) de mesure est également connecté au dispositif (10) de régulation de débit selon l'invention par une liaison (43) et envoie un signal (F) représentatif de la détection d'un fondu enchaîne vers le dispositif (10) de régulation de débit dès que le deuxième dispositif (401) de mesure détecte un fondu enchaîné. Dès la réception de ce signal (F) par le dispositif (10) de régulation de débit selon

l'invention, celui-ci envoie vers l'allocateur (1) de débit, pour les h +1 prochaines images, où h est le nombre d'images des groupes d'images, une valeur complexité $X_F(n)$ égale au seuil maximum S_{max} de complexité admissible par l'allocateur, par l'intermédiaire de ses moyens de transmission. Ensuite, c'est-à-dire pour la h + 2ième image, le dispositif (10) de régulation de débit selon l'invention fonctionne de nouveau selon le mode stabilisé décrit précédemment.

Le premier dispositif (400) de mesure est construit sur la base d'un dispositif de pré-traitement, de l'art antérieur, permettant de détecter un changement de scène. Ces dispositifs de l'art antérieur sont basés sur l'analyse de la mesure de l'inter corrélation, c'est-à-dire sur la somme ligne à ligne des différences entre un premier pixel d'une première image et un deuxième pixel d'une deuxième image, ce deuxième pixel ayant la même position dans la deuxième image que le premier pixel dans la première image. Le premier dispositif (400) de mesure selon l'invention comprend également un dispositif permettant d'évaluer, sans la calculer, la complexité des images postérieures au changement de scène. Ce dispositif d'évaluation fournit une mesure SC de la décorrélation de l'inter corrélation. Une fois évaluée, cette valeur SC est transmise au dispositif (10) de régulation par l'intermédiaire d'une liaison (44). La réception de cette valeur (SC) par le dispositif (10) de régulation de débit selon l'invention provoque le calcul puis l'envoi pour e images suivantes, d'une complexité définie par la formule :

$$X_{SC}(n) = MAX\ (X_{cpdmst}(n), f(SC)),$$

Dans cette formule, f est une fonction permettant de déterminer la complexité d'une image en fonction de la valeur de la décorrélation SC.

La valeur e correspond au nombre d'images contenues dans la mémoire tampon du dispositif de pré-traitement. Ensuite, pour l'image suivante, c'est-à-dire pour la e + unième image, le dispositif (10) de régulation de débit fonctionne de nouveau selon le mode stabilisé décrit précédemment.

La réaction du dispositif (10) de régulation de débit en réponse aux signaux transmis par le dispositif (40) de pré-traitement indiquant la présence d'un changement de scène ou d'un fondu enchaîné est mis en œuvre par exemple, par un programme P3 de détection réalisant le logigramme de la figure 5. Ce programme P3 est, par exemple, mémorisé sur la mémoire (12) du dispositif (10) de régulation de débit.

Ce programme (P3) de détection réalise en permanence une surveillance des liaisons (43, 44) provenant des dispositifs (400, 401) de détection du dispositif (40) de pré-traitement. Dès qu'un signal (SC changement de scène ou F fondu enchaîné) est transmis sur l'une des liaisons (43, 44) précitées, le programme (P3) effectue un premier test (100) pour vérifier si le signal est un signal (F) de détection de fondu enchaîné. Si oui, le programme transmet (101) une complexité égale au seuil maximum pour un nombre h d'images suivantes, vers l'allocateur de débit, par l'intermédiaire des moyens de transmission du dispositif (10) de régulation de débit. Sinon, le programme P3, réalise un deuxième test (102) pour vérifier si le signal (SC) est un signal de détection de changement de scène. Si oui, le programme P3 évalue (103) la complexité qui sera transmise pour un nombre e d'images suivantes, vers l'allocateur de débit, par l'intermédiaire des moyens de transmission du dispositif (10) de régulation de débit. Cette évaluation s'effectue en fonction de la mesure SC de l'inter corrélation réalisée par le premier dispositif (400) de mesure et transmise par la liaison (44). Si non, le programme P3, déclenche (104) le lancement du programme P2 de calcul de la complexité définie précédemment

Il est clair que d'autres modifications à la portée de l'homme du métier entrent dans le cadre de l'invention. Notamment, le dispositif de régulation de débit selon l'invention peut être remplacé par un dispositif de régulation de l'art antérieur auquel est intégré ou connecté un dispositif spécifique réalisant les nouvelles fonctionnalités décrites précédemment.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de régulation de débit dans un système de multiplexage statistique de plusieurs flux d'images codées par des codeurs E(i) selon codage MPEG 2, intégré à chaque codeur E(i), le système de multiplexage statistique comprenant un dispositif (1) d'allocation de débit utilisant la complexité calculée par le dispositif (10) de régulation de débit, chaque codeur E(i) de chaque flux comprenant un premier dispositif (20) de codage réalisant un premier codage spatial de toutes les images à coder pour déterminer le coût de codage de chaque image si elle devait être codée spatialement et en avance par rapport à leur deuxième codage effectif par un deuxième dispositif (30) de codage, caractérisé en ce que des moyens (12) de mémorisation mémorisant la complexité $X^{1st}{}_{i}^{-}$ de la dernière image codée spatialement par le premier dispositif de codage, la complexité (X^{-}_{GOP}) du dernier groupe d'images effectivement codées par le deuxième dispositif (30) de codage, le dernier débit Ri alloué par le dispositif d'allocation (1) de débit, le dispositif (10) de régulation de débit du codeur E(i) déterminant, la valeur de complexité pour la prochaine image codée par le deuxième dispositif (30) de codage, par l'intermédiaire d'un programme P2 préenregistré exécuté par des circuits intégrés et utilisant les valeurs mémorisées, le dispositif (10) de régulation de débit comprenant également des moyens de transmission de cette valeur de complexité vers l'allocateur de débit (1) pour la détermination du prochain débit de consignes envoyées au codeur E(i).

2. Dispositif de régulation de débit selon la revendication 1, caractérisé en ce que le pas de quantification (Q_{mst}) utilisé par le dispositif (10) de régulation de débit pour déterminer la complexité de l'image à coder est le pas de quantification maximum entre les trois derniers pas de quantification déterminés par le dispositif (10) de régulation de débit, lors du codage par le premier dispositif (20) de codage.

3. Dispositif de régulation de débit selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le dispositif de régulation de débit comprend un module (M8) de détermination de la moyenne des complexités envoyées par le dispositif (10) de régulation à l'allocateur de débit (1) pour un nombre déterminé d'images précédentes, puis un module de détermination, par l'intermédiaire d'un comparateur, de la valeur maximale entre cette moyenne et la valeur de la dernière complexité (X_{dmst}) calculée et mémorisée, cette valeur correspondant à la valeur transmise par le dispositif (10) de régulation de débit vers l'allocateur (1) de débit par les moyens de transmission.

4. Dispositif de régulation de débit selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le dispositif de régulation comprend des premiers moyens (M9) de calcul de la racine carré de la valeur de la complexité préalablement calculée par le programme P2, cette valeur correspondant à la valeur transmise par le dispositif (10) de régulation de débit vers l'allocateur (1) de débit par les moyens de transmission.

5. Dispositif de régulation de débit selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le dispositif de régulation de débit (10) comprend des seconds moyens (M10) d'effectuer un seuillage minimal Smin et maximal Smax de la valeur de la complexité.

6. Dispositif de régulation de débit selon la revendication 5, caractérisé en ce que le seuillage de la complexité est réalisé par un comparateur qui détermine la valeur minimum entre, d'une part le seuil maximum, et d'autre part le maximum entre le seuil minimum et la dernière complexité calculée qui est multipliée par un coefficient déterminé.

7. Dispositif de régulation de débit selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce que les premier et second moyens sont constitués respectivement de modules (M9, M10) de programme (P2) enregistrés sur les moyens (12) de mémorisation.

8. Dispositif de régulation de débit selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le dispositif (10) de régulation de débit est connecté à un dispositif (40) de pré-traitement qui comprend au moins un dispositif (400, 401) de mesure pour détecter un changement de scène et/ou un fondu enchaîné en effectuant une analyse de la corrélation entre deux images successives (inter corrélation) entre la ligne de pixel d'une image et la ligne de même rang de l'image suivante, ou une analyse de la corrélation à l'intérieur d'une image (intra corrélation) entre les lignes d'une même image, le résultat de cette analyse est transmis au dispositif (10) de régulation de débit qui comprend des moyens (P3) de détermination d'une valeur de complexité (X_{SC} ou X_F) adaptée au changement de scène et/ou au fondu enchaîné, cette valeur correspondant à la valeur transmise par le dispositif (10) de régulation de débit vers l'allocateur (1) de débit par les moyens de transmission.

9. Dispositif de régulation de débit selon la revendication 7, caractérisé en ce que le dispositif (40) de pré-traitement qui comprend un dispositif de mesure (401) de l'intra corrélation, après avoir détecté successivement une décorrélation puis une recorrélation à l'intérieur d'une d'image, envoie un signal (F) au dispositif (10) de régulation de débit, qui est analysé comme la détection d'un fondu enchaîné, et le dispositif (10) de régulation de débit affecte pour un nombre déterminé d'images à coder suivantes, une valeur de complexité (X_F) correspondant au seuil maximum, le nombre d'images à coder suivantes correspondant au nombre d'images contenues dans un groupe d'images augmentées d'une image, cette valeur correspondant à la valeur transmise par le dispositif (10) de régulation de débit vers l'allocateur (1) de débit par les moyens de transmission.

10. Dispositif de régulation de débit selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que dispositif (40) de pré-traitement, qui comprend un dispositif de mesure (401) de l'inter corrélation, après avoir détecté une forte décorrélation entre deux images successives, envoie un signal (SC) au

dispositif (10) de régulation de débit représentatif de la mesure du niveau de décorrélation entre les deux images, ce signal (SC) étant analysé par le dispositif (10) de régulation de débit comme la détection d'un changement de scène, pour évaluer la complexité (X_{SC}) qui sera appliquée à un nombre déterminé d'images suivantes, en fonction du niveau de décorrélation calculé par le dispositif (40) de pré-traitement.

11. Procédé de régulation de débit de chaque codeur (E(i)) d'un système de multiplexage statistique comprenant un dispositif (1) d'allocation de débit connecté à chaque dispositif (10) de régulation de débit de chaque codeur (E(i)), chaque codeur (E(i)) comprenant un premier dispositif (20) de codage réalisant le codage spatial et avec un temps d'avance de toutes les images codées effectivement et postérieurement par un deuxième dispositif (30) de codage, le procédé comprenant :

- une étape de mémorisation sur des moyens (12) de mémorisation du dispositif (10) de régulation de débit de chaque codeur (E(i)) de valeurs représentatives de la complexité X^{1st}_{I} de la dernière image codée par le premier dispositif (20) de codage, de la complexité X^{-}_{GOP} du dernier groupe d'images codées par le deuxième dispositif (30) de codage, et du dernier débit (R(i)) reçu par le dispositif (20) de régulation de débit,

- une étape de calcul de la complexité de la prochaine codée par le deuxième dispositif (30) de codage à partir des valeurs précédemment mémorisées,

- une étape de transmission de la valeur de complexité de la prochaine image codée par le deuxième dispositif (20) de codage vers le dispositif (10) d'allocation de débit.

12. Procédé de régulation de débit selon la revendication 11 caractérisé en ce qu'il comprend :

- une deuxième étape de calcul, déterminant la complexité de la prochaine image codée par le deuxième dispositif (30) de codage comme la racine carré de la complexité déterminée par la première étape de calcul.

13. Procédé de régulation de débit selon la revendication 11 ou 12 caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape d'analyse d'une mesure de la corrélation entre deux images permettant de déterminer la présence d'un changement de scène et une grandeur représentative du niveau de décorrélation entre les deux images,

- une étape de transmission d'un signal représentatif de la détection d'un changement de scène et une grandeur représentative du niveau de décorrélation entre les deux images vers le dispositif (10) de régulation de débit,

- une étape d'évaluation par le dispositif (10) de régulation de débit de la valeur de la complexité d'un nombre déterminé d'images postérieurement codées par le deuxième dispositif (30) de codage, en fonction de la grandeur représentative du niveau de décorrélation entre les deux images,

- une étape de transmission par le dispositif (10) de régulation de débit de la valeur de la complexité pour le nombre déterminé d'images vers l'allocateur (1) de débit.

14. Procédé de régulation de débit selon l'une des revendications 11 à 13 caractérisé en ce qu'il comprend :

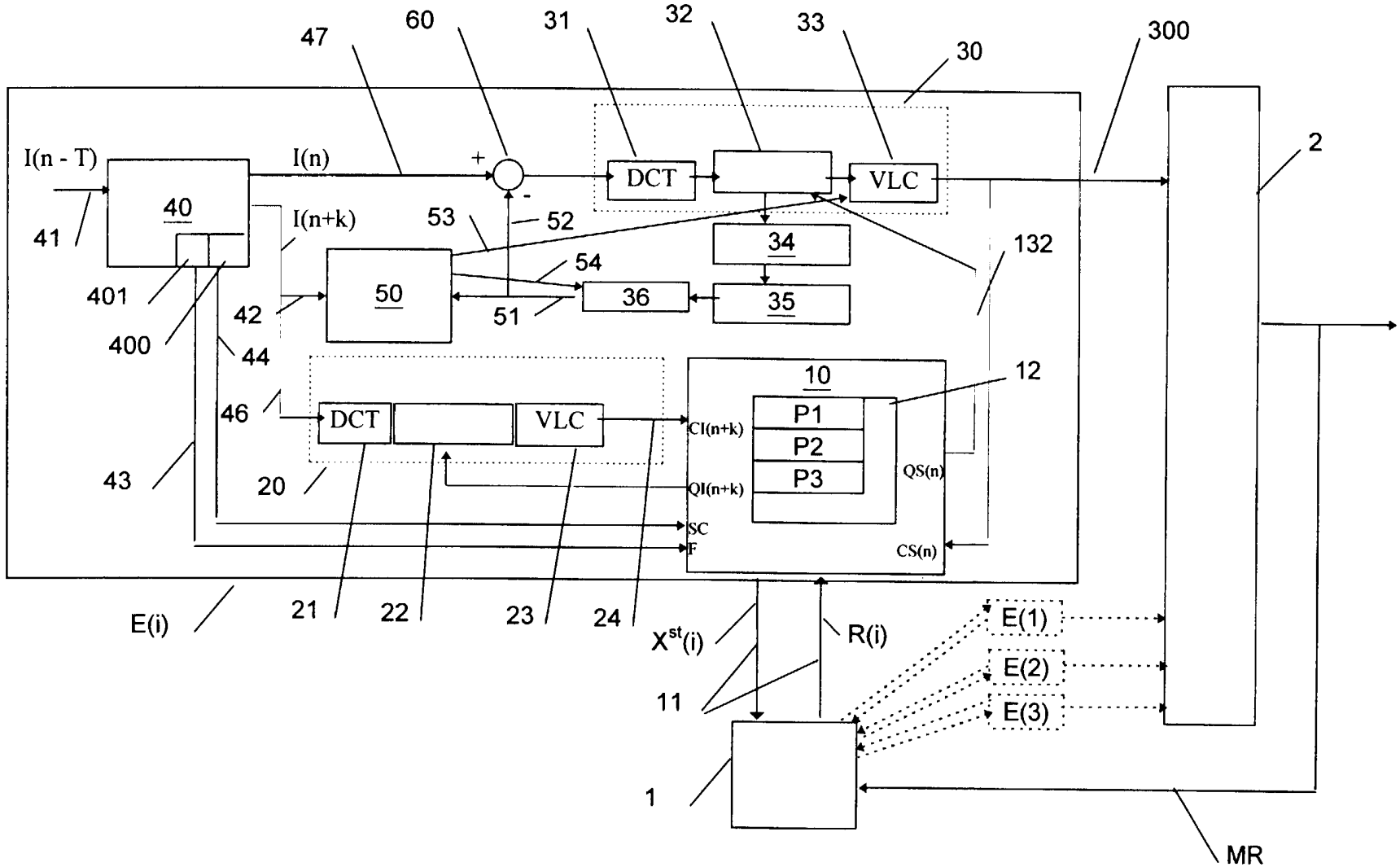
- une étape d'analyse de la mesure de la corrélation entre les lignes d'une même image pour déterminer la présence d'un fondu enchaîné dans une séquence d'images,

- une étape de transmission d'un signal (F) représentatif de la détection d'un fondu enchaîné vers le dispositif (10) de régulation de débit, et

correspondant à la détection d'une décorrélation puis d'une recorrélation entre une ligne de pixel d'une image et la ligne de même rang de la même image,

- une étape de transmission, par le dispositif (10) de régulation de débit, vers l'allocateur (1) de débit, d'une valeur de la complexité pour un nombre déterminé d'images postérieurement codées par le deuxième dispositif de codage, la valeur de la complexité correspondant au seuil maximum de complexité admissible par l'allocateur (1) de débit.

PL 1/5



I(n - T)
I(n)
I(n+k)
40
41
401
400
42
44
43
46
47
60
+
-
50
51
52
53
54
DCT
VLC
31
32
33
30
300
2
34
35
36
132
10
12
P1
P2
P3
CI(n+k)
QI(n+k)
QS(n)
CS(n)
SC
F
20
21
22
23
24
E(i)
X^st(i)
R(i)
11
1
E(1)
E(2)
E(3)
MR

FIG 1

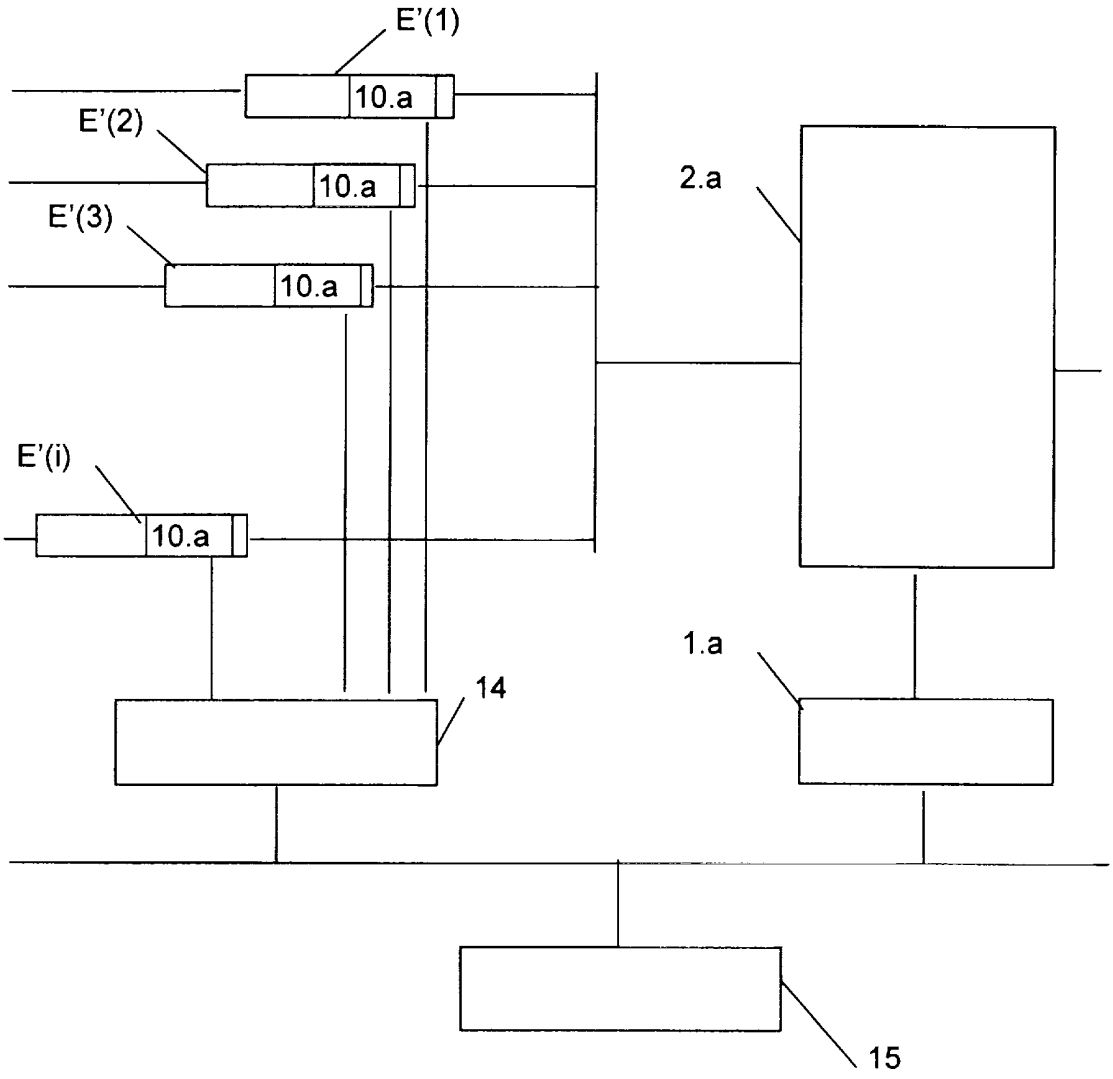


FIG. 2

PL 3/5

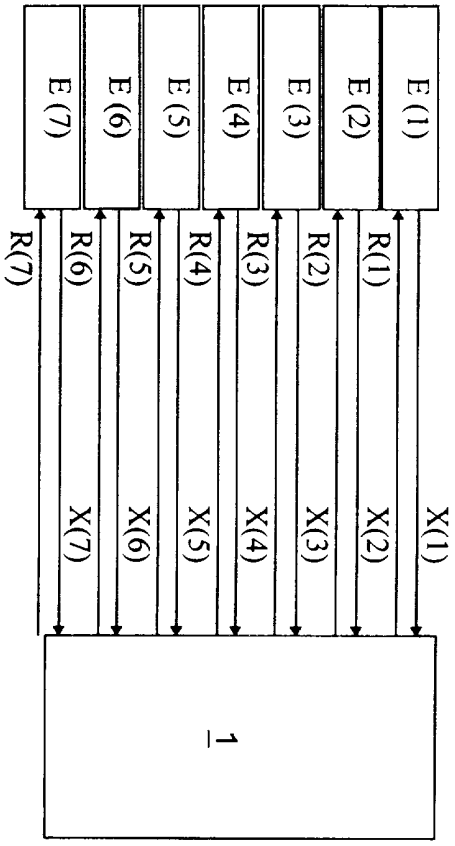


FIG. 3

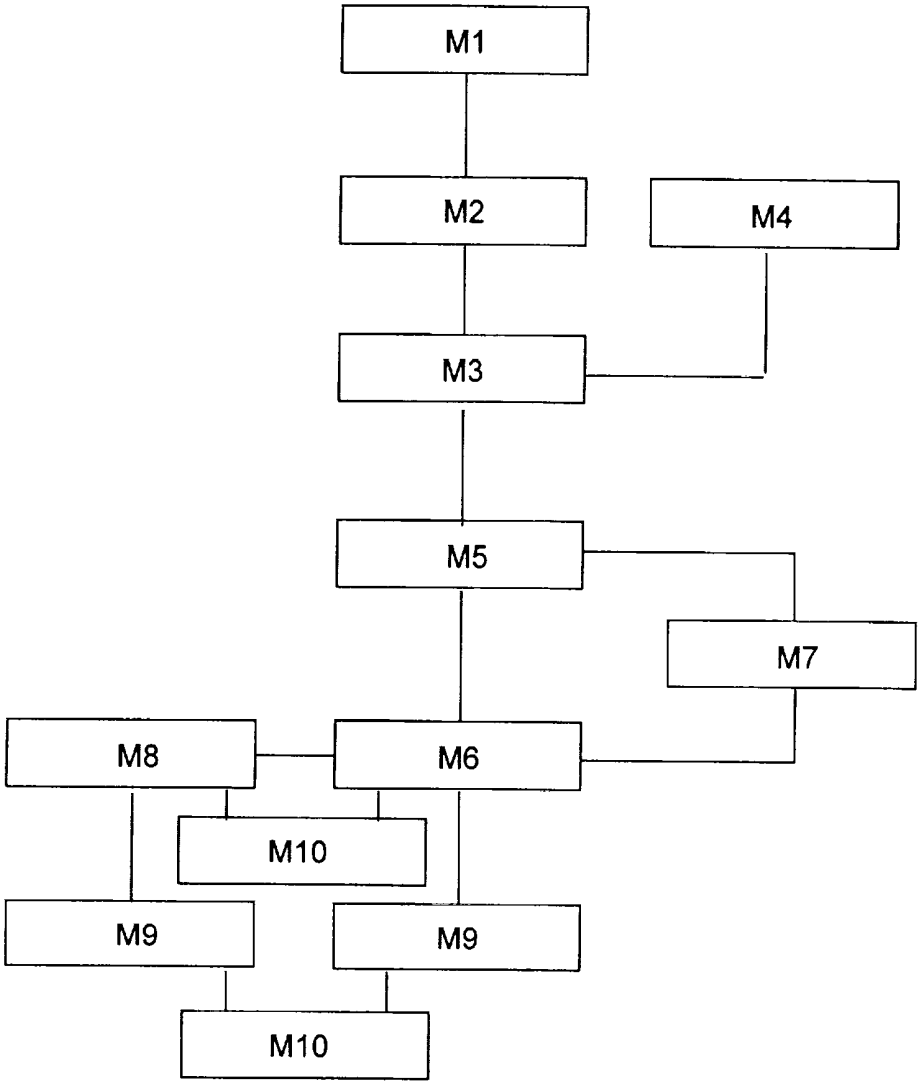


FIG. 4

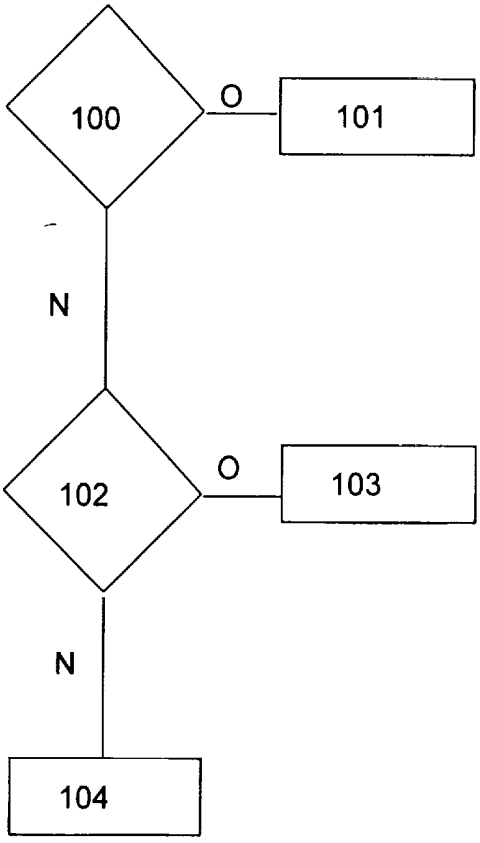


FIG. 5

REPUBLIQUE FRANÇAISE

2790899

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 574514
FR 9902907

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
A	US 5 861 919 A (ARNSTEIN DAVID ET AL) 19 janvier 1999 (1999-01-19) * colonne 3, ligne 4 - ligne 56 *	1-14
A	WO 97 18676 A (PHILIPS ELECTRONICS NV) 22 mai 1997 (1997-05-22) * page 3, ligne 4 - ligne 25; figure 6 *	1-14
A	WO 99 03282 A (SONY CORP ;MIHARA KANJI (JP)) 21 janvier 1999 (1999-01-21) & EP 0 924 933 A (SONY) 21 janvier 1999 (1999-01-21) * alinéa '0007! * * alinéa '0112! *	1-14

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)

H04N

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
24 novembre 1999	Raeymaekers, 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 : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

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

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)