

(19)



(11)

EP 2 145 167 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
21.12.2011 Bulletin 2011/51

(21) Numéro de dépôt: **08788186.8**

(22) Date de dépôt: **16.04.2008**

(51) Int Cl.:
G01L 19/00 ^(2006.01) **G01L 19/14** ^(2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2008/050671

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2008/145893 (04.12.2008 Gazette 2008/49)

(54) **Procédé de codage audio, codeur audio, signal codé et programme d'ordinateur associés**

Audiokodierungsverfahren sowie entsprechendes Audiokodierungsgerät, kodierten Signal und
Computerprogramme dafür

Audio encoding method, audio encoder, coded signal and associated computer program

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

(30) Priorité: **10.05.2007 FR 0703349**

(43) Date de publication de la demande:
20.01.2010 Bulletin 2010/03

(73) Titulaire: **FRANCE TELECOM
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **MOUHSSINE, Adil**
35000 Rennes (FR)
• **BENJELLOUN TOUIMI, Abdellatif**
London W5 4UX (GB)

(74) Mandataire: **Cabinet Plasseraud**
52, rue de la Victoire
75440 Paris Cedex 09 (FR)

(56) Documents cités:
WO-A-02/23529 FR-A- 2 820 573

- **"ISO/IEC 23003-1:2006/FDIS, MPEG Surround"**
GENEVA : ISO, CH, 21 juillet 2006 (2006-07-21),
XP030014816 cité dans la demande
- **ADIL MOUHSSINE ET ABDELLATIF**
BENJELLOUN TOUIMI: "Structure de codage
audio spatialisé à scalabilité hybride"
CORESA'07, [Online] 8 novembre 2007
(2007-11-08), - 9 novembre 2007 (2007-11-09)
XP002463627 Montpellier, France Extrait de
l'Internet: URL:http://www.lirmm.fr/
CORESA07/PDF/27.pd f> [extrait le 2008-01-07]

EP 2 145 167 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne les dispositifs de codage de signaux audio, destinés notamment à prendre place dans des applications de transmission ou de stockage de signaux audio numérisés et compressés.

[0002] L'invention est relative plus précisément aux systèmes de codage hiérarchique audio, ayant la capacité de fournir des débits variés, en répartissant les informations relatives à un signal audio à coder dans des sous-ensembles hiérarchisés, de telle sorte qu'elles puissent être utilisées par ordre d'importance sur le plan de la qualité audio. Le critère pris en compte pour déterminer l'ordre est un critère d'optimisation (ou plutôt de moindre dégradation) de la qualité du signal audio codé. Le codage hiérarchique est particulièrement adapté à la transmission sur des réseaux hétérogènes ou présentant des débits disponibles variables au cours du temps, ou encore à la transmission à destination de terminaux présentant des caractéristiques différentes ou variables.

[0003] L'invention concerne plus particulièrement le codage hiérarchique de scène sonore 3D. Une scène sonore 3D comprend une pluralité de canaux audio correspondant à des signaux monophoniques audio et est encore appelée son spatialisé.

[0004] Une scène sonore codée est destinée à être reproduite sur un système de rendu sonore, qui peut comprendre un simple casque, deux haut-parleurs d'un ordinateur ou encore un système de type Cinéma maison 5.1 (en anglais « Home Cinema ») avec cinq haut-parleurs (un haut-parleur au niveau de l'écran et à l'avant de l'auditeur théorique : un haut-parleur à gauche et un haut-parleur à droite ; à l'arrière de l'auditeur théorique : un haut-parleur à gauche et un haut-parleur à droite), etc.

[0005] Par exemple, considérons une scène sonore d'origine comportant trois sources sonores distinctes, localisées à différents endroits dans l'espace. Les signaux de description de cette scène sonore sont codés. Les données issues de ce codage sont transmises au décodeur, puis sont décodées. Les données décodées sont exploitées afin de générer cinq signaux destinés aux cinq haut-parleurs du système de rendu sonore. Chacun des cinq haut-parleurs diffusent un des signaux, l'ensemble des signaux diffusés par les haut-parleurs synthétisant la scène sonore 3D et donc positionnant dans l'espace trois sources sonores virtuelles.

[0006] Il existe différentes techniques de codage de scènes sonores.

[0007] Par exemple, une technique utilisée comprend la détermination d'éléments de description de la scène sonore, puis des opérations de compression de chacun des signaux monophoniques. Les données issues de ces compressions et les éléments de description sont alors fournis au décodeur.

[0008] L'adaptabilité (encore appelée scalabilité) en débit selon cette première technique est donc réalisable, en adaptant le débit lors des opérations de compression, mais elle est réalisée selon des critères d'optimisation de la qualité de chaque signal considéré individuellement.

[0009] Une autre technique de codage, qui est utilisée dans le codeur « MPEG Audio Surround » (cf. « Text of ISO/IEC FDIS 23003-1, MPEG Surround », ISO/IEC JTC1 / SC29 / WG11 N8324, July 2006, Klagenfurt, Austria), comprend l'extraction et le codage de paramètres spatiaux à partir de l'ensemble des signaux audio monophoniques sur les différents canaux. Ces signaux sont ensuite mélangés pour obtenir un signal monophonique ou stéréophonique, qui est alors comprimé par un codeur mono ou stéréo classique (par exemple de type MPEG-4 AAC, HE-AAC, etc). Au niveau du décodeur, la synthèse de la scène sonore 3D se fait à partir des paramètres spatiaux et du signal mono ou stéréo décodé.

[0010] L'adaptabilité en débit avec cette autre technique est ainsi réalisable en utilisant un codeur mono ou stéréo hiérarchique, mais elle est réalisée selon un critère d'optimisation de la qualité du signal monophonique ou stéréophonique.

[0011] Par ailleurs, la méthode PSMAC (en anglais « Progressive Syntax-rich Multichannel Audio Codec ») permet de coder les signaux de différents canaux en utilisant la transformée KLT (en anglais « Karhunen Loeve Transform »), utile principalement pour la décorrélation des signaux et qui correspond à une décomposition sur des composantes principales dans un espace représentant les statistiques des signaux. Elle permet de distinguer les composantes les plus énergétiques des composantes les moins énergétiques.

[0012] L'adaptabilité en débit est basée sur une annulation des composantes les moins énergétiques. Toutefois, ces composantes peuvent parfois avoir une grande importance quant à la qualité audio globale.

[0013] Ainsi, si les techniques connues donnent de bons résultats en termes d'adaptabilité en débit, aucune ne propose une méthode d'adaptabilité en débit pleinement satisfaisante sur la base d'un critère d'optimisation de la qualité audio globale, en vue de définir des données compressées optimisant la qualité audio globale perçue, lors de la restitution de la scène sonore 3D décodée.

[0014] Par ailleurs, aucune des techniques de codage de scène sonore 3D connues ne permet d'adaptabilité en débit sur la base d'un critère d'optimisation de la résolution spatiale, lors de la restitution de la scène sonore 3D. Cette adaptabilité permet de garantir que chaque réduction de débit dégradera le moins possible la précision de la localisation des sources sonores dans l'espace, ainsi que la dimension de la zone de restitution, qui doit être la plus large possible autour de la tête de l'auditeur.

[0015] En outre, aucune des techniques de codage de scène sonore 3D connues ne permet d'adaptabilité en débit

qui permette de garantir directement une qualité optimale quel que soit le système de rendu sonore utilisé pour la restitution de la scène sonore 3D. Les algorithmes de codage actuels sont définis pour optimiser la qualité par rapport à une configuration particulière du système de rendu sonore. En effet, par exemple dans le cas du codeur « MPEG Audio Surround » décrit ci-dessus mis en oeuvre avec un codage hiérarchique, une écoute directe sur casque ou deux haut-parleurs, ou encore en monophonique est possible. Si on souhaite exploiter le flux binaire compressé avec un système de rendu sonore de type 5.1 ou 7.1, il faut mettre en oeuvre des traitements supplémentaires au niveau du décodeur, par exemple à l'aide de boîtiers OTT (en anglais « One-To-Two ») pour générer les cinq signaux à partir des deux signaux décodés. Ces boîtiers permettent d'obtenir le nombre désiré de signaux dans le cas d'un système de rendu sonore de type 5.1 ou 7.1, mais ne permettent pas de reproduire l'aspect spatial réel. En outre, ces boîtiers ne garantissent pas l'adaptabilité à des systèmes de rendu sonores autres que ceux du type 5.1 et 7.1.

[0016] La présente invention vient améliorer la situation.

[0017] A cet effet la présente invention vise à proposer, suivant un premier aspect tel que défini dans la revendication 1, un procédé d'ordonnement de composantes spectrales d'éléments à coder provenant d'une scène audio comprenant N signaux avec $N > 1$, un élément à coder comportant des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives.

[0018] Le procédé comporte les étapes suivantes :

- calcul de l'influence respective d'au moins certaines composantes spectrales calculables en fonction de paramètres spectraux issus de certains au moins des N signaux, sur des rapports masque à bruit déterminés sur les bandes spectrales en fonction d'un codage desdites composantes spectrales ;
- attribution d'un ordre de priorité à au moins une composante spectrale en fonction de l'influence calculée pour ladite composante spectrale comparée aux autres influences calculées.

[0019] Un procédé selon l'invention permet ainsi d'ordonner par ordre d'importance quant à la qualité audio globale des composantes d'élément à coder.

[0020] Une séquence binaire est constituée après comparaison entre elles des différentes composantes spectrales des différents éléments à coder de la scène globale comparées entre elles sur le plan de leur apport quant à la qualité audio globale perçue. L'interaction entre signaux est ainsi prise en compte pour les compresser de façon conjointe.

[0021] Le flux binaire peut ainsi être ordonné de manière à ce que chaque réduction de débit dégrade le moins possible la qualité audio globale perçue de la scène sonore 3D, puisque les éléments les moins importants sur le plan de leur apport au niveau de la qualité audio globale sont détectés, afin de pouvoir ne pas être insérés (lorsque le débit alloué pour la transmission est insuffisant pour transmettre toutes les composantes des éléments à coder) ou être mis en fin de séquence binaire (permettant de minimiser les défauts générés par une troncature ultérieure).

[0022] Dans un mode de réalisation, le calcul de l'influence d'une composante spectrale s'effectue selon les étapes :

a- codage d'un premier ensemble de composantes spectrales d'éléments à coder selon un premier débit;

b- détermination d'un premier rapport masque à bruit par bande spectrale;

c- détermination d'un second débit inférieur au dit premier;

d- suppression de ladite composante spectrale courante des éléments à coder et codage des composantes spectrales restantes des éléments à coder selon le second débit;

e- détermination d'un second rapport masque à bruit par bande spectrale;

f- calcul d'une variation de rapport masque à bruit en fonction des écarts déterminés entre les premier et second rapports masque à bruit pour le premier et le second débit par bande spectrale;

g- itération des étapes d à f pour chacune des composantes spectrales de l'ensemble de composantes spectrales d'éléments à coder à ordonner et détermination d'une variation de rapport masque à bruit minimum; l'ordre de priorité attribué à la composante spectrale correspondant à la variation minimum étant un ordre de priorité minimum.

[0023] Un tel processus permet ainsi de déterminer au moins une composante d'un élément à coder qui est la moins importante sur le plan de l'apport à la qualité audio globale, comparée à l'ensemble des autres composantes d'éléments à coder à ordonner.

[0024] Dans un mode de réalisation, on réitère les étapes a à g avec un ensemble de composantes spectrales

d'éléments à coder à ordonner restreint par suppression des composantes spectrales pour lesquelles un ordre de priorité a été attribué.

[0025] Dans un autre mode de réalisation, on réitère les étapes a à g avec un ensemble de composantes spectrales d'éléments à coder à ordonner dans lequel les composantes spectrales pour lesquelles un ordre de priorité a été attribué

sont affectées d'un débit de quantification plus réduit lors de l'utilisation d'un quantificateur imbriqué.

[0026] Dans un mode de réalisation, les éléments à coder comprennent les paramètres spectraux calculés pour les

N canaux. Ce sont alors, par exemple, les composantes spectrales des signaux qui sont codées directement.

[0027] Dans un autre mode de réalisation, les éléments à coder comprennent des éléments obtenus par transformation

spatiale, par exemple de type ambiophonique, appelé en anglais « ambisonic », des paramètres spectraux calculés

pour les N signaux. Cette disposition permet d'une part de réduire le nombre de données à transmettre puisque, en

général, les N signaux peuvent être décrits d'une manière très satisfaisante par un nombre de composantes ambiopho-

niques réduit (par exemple, un nombre égal à 3 ou 5), inférieur à N. Cette disposition permet en outre une adaptabilité

à tout type de système de rendu sonore, puisqu'il suffit au niveau du décodeur, d'appliquer une transformée ambiopho-

nique inverse de taille $Q' \times (2p'+1)$, (où Q' est égal au nombre de haut-parleurs du système de rendu sonore utilisé en

sortie du décodeur et $2p'+1$ le nombre de composantes ambiophoniques reçues), pour déterminer les signaux à fournir

au système de rendu sonore, tout en préservant la qualité audio globale.

[0028] Dans un mode de réalisation, on utilise à la place de la transformée spatiale d'autres transformées linéaires

telles que KLT etc.

[0029] Dans un mode de réalisation, on détermine les rapports masque à bruit en fonction des erreurs due au codage

et relatives à des éléments à coder et en fonction en outre d'une matrice de transformation spatiale et d'une matrice

déterminée en fonction de la transposée de ladite matrice de transformation spatiale.

[0030] Dans un mode de réalisation, des éléments à coder sont des composantes ambiophoniques, certaines des

composantes spectrales étant alors des paramètres spectraux de composantes ambiophoniques. Le procédé comporte

les étapes suivantes:

a. calcul de l'influence de certaines au moins desdites composantes spectrales, sur un vecteur d'angle défini en fonction de vecteurs d'énergie et de vitesse associés à des critères de Gerzon et calculés en fonction d'une transformation ambiophonique inverse sur lesdites composantes ambiophoniques quantifiés;

b. attribution d'un ordre de priorité à au moins une composante spectrale en fonction de l'influence calculée pour ladite composante spectrale comparée aux autres influences calculées.

[0031] Un procédé selon l'invention permet ainsi d'ordonner certains au moins des paramètres spectraux de compo-

santes ambiophoniques de l'ensemble à ordonner, en fonction de leur importance relative sur le plan de l'apport à la

précision spatiale.

[0032] La résolution spatiale ou précision spatiale mesure la finesse de la localisation des sources sonores dans

l'espace. Une résolution spatiale accrue permet une localisation plus fine des objets sonores dans la pièce et permet

d'avoir une zone de restitution plus large autour de la tête de l'auditeur.

[0033] Les interactions entre signaux et leur conséquence sur le plan de la précision spatiale sont prises en compte

pour les compresser de façon conjointe.

[0034] Le flux binaire peut ainsi être ordonné de manière à ce que chaque réduction de débit dégrade le moins possible

la précision spatiale perçue de la scène sonore 3D, puisque les éléments les moins importants sur le plan de leur apport

sont détectés, afin d'être mis en fin de séquence binaire (permettant de minimiser les défauts générés par une troncature ultérieure).

[0035] Dans un mode de réalisation d'un tel procédé, on exploite, de la façon indiquée ci-dessous, les angles ξ_V et

ξ_E associés aux vecteurs vitesse $\vec{V}$ et énergie $\vec{E}$ des critères de Gerzon pour identifier des éléments à coder les moins

pertinents sur le plan de l'apport, en termes de précision spatiale, à la scène sonore 3D. Ainsi contrairement à l'usage

habituel, les vecteurs vitesse $\vec{V}$ et énergie $\vec{E}$ ne sont pas utilisés pour optimiser un système de rendu sonore considéré.

[0036] Dans un mode de réalisation, le calcul de l'influence d'un paramètre spectral s'effectue selon les étapes

suivantes :

a- codage d'un premier ensemble de paramètres spectraux de composantes ambiophoniques à coder selon un

premier débit;

b- détermination d'un premier vecteur d'angle par bande spectrale;

c- détermination d'un second débit inférieur au dit premier;

d- suppression dudit paramètre spectral courant des composantes à coder et codage des paramètres spectraux restants des composantes à coder selon le second débit;

e- détermination d'un second vecteur d'angle par bande spectrale;

f- calcul d'une variation de vecteur d'angle en fonction des écarts déterminés entre les premier et second vecteurs d'angle pour le premier et le second débit par bande spectrale;

g- itération des étapes d à f pour chacun des paramètres spectraux de l'ensemble de paramètres spectraux de composantes à coder à ordonner et détermination d'une variation de vecteur d'angle minimum; l'ordre de priorité attribué au paramètre spectral correspondant à la variation minimum étant un ordre de priorité minimum.

[0037] Cette disposition permet, en un nombre limité de calculs, de déterminer le paramètre spectral de la composante à déterminer dont l'apport à la précision spatiale est minimum.

[0038] Dans un mode de réalisation, on réitère les étapes a à g avec un ensemble de paramètres spectraux de composantes à coder à ordonner restreint par suppression des paramètres spectraux pour lesquelles un ordre de priorité a été attribué.

[0039] Dans un autre mode de réalisation, on réitère les étapes a à g avec un ensemble de paramètres spectraux de composantes à coder à ordonner dans lequel les paramètres spectraux pour lesquels un ordre de priorité a été attribué sont affecté d'un débit de quantification plus réduit lors de l'utilisation d'un quantificateur imbriqué.

[0040] De tels processus itératifs permettent d'identifier successivement, parmi les paramètres spectraux des composantes ambiophoniques auxquels n'ont pas encore été affectés des ordres de priorité, ceux qui apportent le moins sur le plan de la précision spatiale.

[0041] Dans un mode de réalisation, une première coordonnée du vecteur d'énergie est fonction de la formule

$$\frac{\sum_{1 \leq i \leq Q} T_i^2 \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq Q} T_i^2}, \text{ une seconde coordonnée du vecteur d'énergie est fonction de la formule } \frac{\sum_{1 \leq i \leq Q} T_i^2 \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq Q} T_i^2},$$

une première coordonnée du vecteur de vitesse est fonction de la formule $\frac{\sum_{1 \leq i \leq Q} T_i \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq Q} T_i}$ et une seconde coordonnée du vecteur de vitesse est fonction de la formule

$$\frac{\sum_{1 \leq i \leq Q} T_i \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq Q} T_i}, \text{ dans lesquelles les } T_i, i=1 \text{ à } Q, \text{ représentent}$$

les signaux déterminés en fonction de la transformation ambiophonique inverse sur lesdits paramètres spectraux quantifiés selon le débit considéré et les $\xi_i, i=1 \text{ à } Q$, sont des angles déterminés.

[0042] Dans un mode de réalisation, une première coordonnée d'un vecteur d'angle indique un angle fonction du signe de la deuxième coordonnée du vecteur de vitesse et de l'arccosinus de la première coordonnée du vecteur de vitesse et selon lequel une deuxième coordonnée d'un vecteur d'angle indique un angle fonction du signe de la deuxième coordonnée du vecteur d'énergie et de l'arccosinus de la première coordonnée du vecteur d'énergie.

[0043] Suivant un second aspect tel que défini dans la revendication 10, l'invention propose un codeur audio adapté pour coder une scène audio 3D comprenant N signaux respectifs en un flux binaire de sortie, avec $N > 1$, comprenant :

- un module de transformation adapté pour déterminer, en fonction des N signaux, des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives;
- un module d'ordonnement suivant le deuxième aspect de l'invention, adapté pour ordonner au moins certaines des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives;
- un module de constitution d'une séquence binaire adapté pour constituer une séquence binaire comportant des données indiquant des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives en fonction de l'ordonnement effectué par le module d'ordonnement.

[0044] Suivant un troisième aspect tel que défini dans la revendication 11, l'invention propose un programme d'ordinateur à installer dans un module d'ordonnement, ledit programme comprenant des instructions pour mettre en oeuvre les étapes d'un procédé suivant le premier aspect de l'invention lors d'une exécution du programme par des

moyens de traitement dudit module.

[0045] Suivant un quatrième aspect tel que défini dans la revendication 12, l'invention propose un signal comportant des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives d'éléments à coder provenant d'une scène audio comprenant N signaux avec $N > 1$, en ce en que lesdites composantes spectrales sont ordonnées pour la mise en oeuvre du procédé d'ordonnancement suivant le premier aspect de l'invention.

[0046] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description qui va suivre. Celle-ci est purement illustrative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente un codeur dans un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 représente un décodeur dans un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 illustre la propagation d'une onde plane dans l'espace ;
- la figure 4 est un organigramme représentant des étapes d'un premier processus Proc1 dans un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5a représente une séquence binaire construite dans un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5b représente une séquence binaire Seq construite dans un autre mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 6 est un organigramme représentant des étapes d'un second processus Proc2 dans un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 7 représente un exemple de configuration d'un système de rendu sonore comprenant 8 haut-parleurs $h_1, h_2, \dots, h_8$;
- la figure 8 représente une chaîne de traitement ;
- la figure 9 comporte une deuxième chaîne de traitement ;
- la figure 10 représente une troisième chaîne de traitement ;
- la figure 11 est un organigramme représentant des étapes d'un processus Proc dans un mode de réalisation de l'invention.

[0047] La figure 1 représente un codeur audio 1 dans un mode de réalisation de l'invention.

[0048] Le codeur 1 comprend un module 3 de transformation temps/fréquence, un module 7 de calcul de courbe de masquage, un module 4 de transformation spatiale, un module 5 de définition des éléments à coder les moins pertinents combiné avec un module 10 de quantification, un module 6 d'ordonnancement des éléments, un module 8 de constitution d'une séquence binaire, en vue de la transmission d'un flux binaire Φ .

[0049] Une scène sonore 3D comprend N canaux sur chacun un signal respectif $S_1, \dots, S_N$ est délivré.

[0050] La figure 2 représente un décodeur audio 100 dans un mode de réalisation de l'invention.

[0051] Le décodeur 100 comprend un module 104 de lecture de séquence binaire, un module 105 de quantification inverse, un module 101 de transformation ambiophonique inverse, un module 102 de transformation fréquence/temps.

[0052] Le décodeur 100 est adapté pour recevoir en entrée le flux binaire Φ transmis par le codeur 1 et pour délivrer en sortie Q' signaux $S'_1, S'_2, \dots, S'_Q$ destinés à alimenter les Q' haut-parleurs $H_1, H_2, \dots, H_{Q'}$ respectifs d'un système de rendu sonore 103.

[0053] A chaque haut-parleur H_i , $i=1$ à Q' , est associé un angle β_i indiquant l'angle de propagation acoustique depuis le haut-parleur.

Opérations réalisées au niveau du codeur :

[0054] Le module 3 de transformation temps/fréquence du codeur 1 reçoit en entrée les N signaux $S_1, \dots, S_N$ de la scène sonore 3D à coder.

[0055] Chaque signal S_i , $i = 1$ à N , est représenté par la variation de sa pression omnidirectionnelle acoustique P_i et l'angle θ_i de propagation de l'onde acoustique dans l'espace de la scène 3D.

[0056] Sur chaque trame temporelle de chacun de ces signaux indiquant les différentes valeurs prises au cours du temps par la pression acoustique P_i , le module 3 de transformation temps/fréquence effectue une transformation temps/fréquence, dans le cas présent, une transformée en cosinus discrète modifiée (MDCT).

[0057] Ainsi il détermine, pour chacun des signaux S_i , $i=1$ à N , sa représentation spectrale X_i , caractérisée par M coefficients MDCT $X(i, j)$, avec $j = 0$ à $M-1$. Un coefficient MDCT $X(i, j)$ représente ainsi le spectre du signal S_i pour la bande de fréquence F_j .

[0058] Les représentations spectrales X_i des signaux S_i , $i = 1$ à N , sont fournies en entrée du module 4 de transformation spatiale, qui reçoit en outre en entrée les angles θ_i de propagation acoustique caractérisant les signaux d'entrée S_i .

[0059] Les représentations spectrales X_i des signaux S_i , $i = 1$ à N , sont en outre fournies en entrée du module 7 de calcul des courbes de masquage.

[0060] Le module 7 de calcul de courbe de masquage est adapté pour déterminer la courbe de masquage spectrale de chaque signal S_i considéré individuellement, à l'aide de sa représentation spectrale X_i et d'un modèle psychoacous-

tique, ce qui fournit un niveau de masquage pour chaque bande de fréquence F_j , $j=0$ à $M-1$ de chaque représentation spectrale X_i . Les éléments de définition de ces courbes de masquages sont délivrés au module 5 de définition des éléments à coder les moins pertinents.

[0061] Le module 4 de transformation spatiale est adapté pour effectuer une transformation spatiale des signaux d'entrée fournies, c'est-à-dire déterminer les composantes spatiales de ces signaux résultant de la projection sur un référentiel spatial dépendant de l'ordre de la transformation. L'ordre d'une transformation spatiale se rattache à la fréquence angulaire selon laquelle elle « scrute » le champ sonore.

[0062] Dans un mode de réalisation, le module 4 de transformation spatiale effectue une transformation ambiophonique, qui donne une représentation spatiale compacte d'une scène sonore 3D, en réalisant des projections du champ sonore sur les fonctions harmoniques sphériques ou cylindriques associées.

[0063] Pour plus d'information sur les transformations ambiophoniques, on pourra se référer aux documents suivants : « Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia », Thèse de doctorat de l'université Paris 6, Jérôme DANIEL, 31 juillet 2001, « A highly scalable spherical microphone array based on an orthonormal decomposition of the sound field », Jens Meyer - Gary Elko, Vol. II - pp. 1781-1784 in Proc. ICASSP 2002.

[0064] En référence à la figure 3, la formule suivante donne la décomposition en harmoniques cylindriques à un ordre infini d'un signal S_i de la scène sonore :

$$S_i(r, \varphi) = P_i \cdot [J_0(kr) + \sum_{1 \leq m \leq \infty} 2 \cdot j^m J_m(kr) \cdot (\cos m \cdot \theta_i \cdot \cos m \cdot \varphi + \sin m \cdot \theta_i \cdot \sin m \cdot \varphi)]$$

où (J_m) représentent les fonctions de Bessel, r la distance entre le centre du repère et la position d'un auditeur placé en un point M , P_i la pression acoustique du signal S_i , θ_i l'angle de propagation de l'onde acoustique correspondant au signal S_i et φ l'angle entre la position de l'auditeur et l'axe du repère.

[0065] Si la transformation ambiophonique est d'ordre p (p entier positif quelconque), pour une transformation ambiophonique 2D (selon le plan horizontal), la transformée ambiophonique d'un signal S_i exprimée dans le domaine temporel comprend alors les $2p+1$ composantes suivantes :

$$(P_i, P_i \cdot \cos \theta_i, P_i \cdot \sin \theta_i, P_i \cdot \cos 2\theta_i, P_i \cdot \sin 2\theta_i, P_i \cdot \cos 3\theta_i, P_i \cdot \sin 3\theta_i, \dots, P_i \cdot \cos p\theta_i, P_i \cdot \sin p\theta_i).$$

[0066] Dans ce qui suit, il a été considéré une transformation ambiophonique 2D. Néanmoins l'invention peut être mise en oeuvre avec une transformation ambiophonique 3D (dans un tel cas, on considère que les haut-parleurs sont disposés sur une sphère).

[0067] Les composantes ambiophoniques A_k , $k=1$ à $Q = 2p + 1$, considérées dans le domaine fréquentiel, comportent chacune M paramètres spectraux $A(k,j)$, $j = 0$ à $M-1$ se rapportant respectivement aux bandes F_j telles que :

si $\underline{A}$ est la matrice comportant les composantes A_k , $k=1$ à Q issues de la transformation ambiophonique d'ordre p des signaux S_i , $i = 1$ à N , $\underline{Amb}(p)$ est la matrice de transformation ambiophonique d'ordre p pour la scène sonore spatiale, et $\underline{X}$ est la matrice des composantes fréquentielles des signaux S_i , $i = 1$ à N , alors :

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} A(1,0) & A(1,1) & . & . & . & A(1,M-1) \\ A(2,0) & & & & & A(2,M-1) \\ . & & & & & . \\ . & & & & & . \\ A(Q,0) & A(Q,1) & . & . & . & A(Q,M-1) \end{bmatrix},$$

$$\underline{Amb}(p) = [\underline{Amb}(p)(i,j)], \text{ avec } i=1 \text{ à } Q \text{ et } j=1 \text{ à } N, \text{ avec : } \underline{Amb}(p)(1,j) = 1, \quad \underline{Amb}(p)(i,j) = \sqrt{2} \cos \left[\left(\frac{i}{2} \right) \theta_j \right] \text{ si } i \text{ pair et}$$

$$\text{Amb}(p)(i,j) = \sqrt{2} \sin \left[\left(\frac{i-1}{2} \right) \theta_j \right] \text{ si } i \text{ impair, soit}$$

$$\underline{\text{Amb}}(p) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & . & . & 1 \\ \sqrt{2} \cos \theta_1 & \sqrt{2} \cos \theta_2 & . & . & \sqrt{2} \cos \theta_N \\ \sqrt{2} \sin \theta_1 & \sqrt{2} \sin \theta_2 & . & . & \sqrt{2} \sin \theta_N \\ \sqrt{2} \cos 2\theta_1 & \sqrt{2} \cos 2\theta_2 & . & . & \sqrt{2} \cos 2\theta_N \\ \sqrt{2} \sin 2\theta_1 & \sqrt{2} \sin 2\theta_2 & . & . & \sqrt{2} \sin 2\theta_N \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ \sqrt{2} \cos p\theta_1 & \sqrt{2} \cos p\theta_2 & . & . & \sqrt{2} \cos p\theta_N \\ \sqrt{2} \sin p\theta_1 & \sqrt{2} \sin p\theta_2 & . & . & \sqrt{2} \sin p\theta_N \end{bmatrix}$$

$$\text{et } \underline{X} = \begin{bmatrix} X(1,0) & X(1,1) & . & . & . & X(1,M-1) \\ X(2,0) & X(2,1) & . & . & . & X(2,M-1) \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ X(N,0) & . & . & . & . & X(N,M-1) \end{bmatrix}$$

et on a

$$\underline{A} = \underline{\text{Amb}}(p) \times \underline{X}$$

Equation (1).

[0068] Le module 4 de transformation spatiale est adapté pour déterminer la matrice $\underline{A}$, à l'aide de l'équation (1) en fonction des données $X(i, j)$ et θ_i ($i=1$ à N , $j=0$ à $M-1$) qui lui sont fournies en entrée.

[0069] Dans le cas particulier considéré, les composantes ambiophoniques A_k , $k=1$ à Q , soit les paramètres $A(k, j)$, $k=1$ à Q et $j=0$ à $M-1$, de cette matrice $\underline{A}$, sont les éléments à coder par le codeur 1 dans une séquence binaire.

[0070] Les composantes ambiophoniques A_k , $k=1$ à Q , sont délivrées au module 5 de définition des éléments les moins pertinents pour quantification et détermination d'un ordonnancement des composantes ambiophoniques.

[0071] Ce module 5 de définition des éléments les moins pertinents est adapté pour mettre en oeuvre des opérations, suite à l'exécution sur des moyens de traitement du module 5, d'un premier algorithme et/ou un second algorithme, en vue de définir des éléments à coder les moins pertinents et d'ordonner les éléments à coder entre eux.

[0072] Cet ordonnancement des éléments à coder est utilisé ultérieurement lors de la constitution d'une séquence binaire à transmettre.

[0073] Le premier algorithme comprend des instructions adaptées pour mettre en oeuvre, lorsqu'elles sont exécutées sur les moyens de traitement du module 5, les étapes du processus Proc1 décrit ci-dessous en référence à la figure 4.

Processus Proc1

[0074] Le principe du processus Proc1 est le suivant : on calcule l'influence respective d'au moins certaines composantes spectrales calculables en fonction de paramètres spectraux issus de certains au moins des N signaux, sur des rapports masque à bruit déterminés sur les bandes spectrales en fonction d'un codage desdites composantes spectrales. Puis on attribue un ordre de priorité à au moins une composante spectrale en fonction de l'influence calculée pour ladite composante spectrale comparée aux autres influences calculées.

[0075] Dans un mode de réalisation, le processus Proc1 détaillé est le suivant:

Initialisation

■ Etape 1a:

[0076] Dans cette étape, on définit un premier débit $D_0 = D_{\max}$ et une allocation de parties de ce débit D_0 entre les éléments à coder $A(k,j)$, $(k,j) \in E_0 = \{(k,j) \text{ tel que } k=1 \text{ à } Q \text{ et } j=0 \text{ à } M-1\}$. On nomme $d_{k,j}$ le débit attribué à l'élément à coder $A(k,j)$, $(k,j) \in E_0$, lors de cette allocation (la somme de ces débits $d_{k,j}$ $k=1$ à Q , $j=0$ à $M-1$ est égale à D_0) et $\delta_0 = \min d_{k,j}$ pour $(k,j) \in E_0$.

[0077] Puis les éléments à coder $A(k,j)$, $(k,j) \in E_0$, sont quantifiés par le module 10 de quantification en fonction de l'allocation définie pour le débit D_0 .

■ Etape 1b :

[0078] Ensuite, on calcule le rapport entre le masque et l'erreur (ou bruit) de quantification (« Mask to noise Ratio » en anglais ou MNR) pour chaque signal S_i et pour chaque sous-bande F_j , avec $i=1$ à N et $j=0$ à $M-1$, qui est égal à la puissance du masque du signal S_i dans la bande F_j divisée par la puissance du bruit de quantification ($E(i,j)$) relative au signal S_i dans cette bande F_j .

[0079] Pour ce faire, on détermine d'abord l'erreur de quantification $b(k,j)$ dans chaque bande F_j des éléments à coder $A(k,j)$, $(k,j) \in E_0$, de la façon suivante :

$b(k,j) = A(k,j) - \bar{A}(k,j)$, avec $\bar{A}(k,j)$ le résultat de la quantification, puis quantification inverse de l'élément $A(k,j)$ (en général la quantification fournit un indice de quantification indiquant la valeur de l'élément quantifié dans un dictionnaire, le quantificateur inverse fournit la valeur de l'élément quantifié en fonction de l'indice).

[0080] Puis on détermine l'erreur de quantification $E(i,j)$ dans chaque bande F_j pour chaque signal S_i avec $i=1$ à N et $j=0$ à $M-1$, due à la quantification des éléments à coder selon le débit D_0 , en calculant la matrice $\underline{E}$ comportant les éléments $E(i,j)$:

$$\underline{E} = \frac{1}{Q^2} (\text{Amb}(p) \cdot \text{Amb}(p)^t)^{-1} \cdot \underline{\text{Amb}(p)}^t \cdot \underline{B}, \quad \text{Equation (2)}$$

où $Q=2p+1$, $\text{Amb}(p)$ est la matrice de transformation ambiophonique d'ordre p et

$$\underline{E} = \begin{bmatrix} E(1,0) & E(1,1) & \cdot & \cdot & \cdot & E(1,M-1) \\ E(2,0) & E(2,1) & \cdot & \cdot & \cdot & E(2,M-1) \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ E(N,0) & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & E(N,M-1) \end{bmatrix} = [E(i,j)]_{i=1 \text{ à } N, j=0 \text{ à } M-1}$$

et

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} b(1,0) & b(1,1) & . & . & . & b(1,M-1) \\ b(2,0) & & & & & b(2,M-1) \\ . & & & & & . \\ . & & & & & . \\ b(Q,0) & b(Q,1) & . & . & . & b(Q,M-1) \end{bmatrix} = [b(k,j)]_{k=1 \text{ à } Q, j=0 \text{ à } M-1}.$$

[0081] Puis le rapport entre le masque et l'erreur de quantification pour chaque signal S_i et pour chaque bande F_j , avec $i = 1 \text{ à } N$ et $j = 0 \text{ à } M-1$ est déterminé en fonction du bruit de quantification $E(i,j)$ ainsi calculé relatif au signal S_i dans cette bande F_j et du masque du signal S_i dans la bande F_j fourni par le module 7 de calcul de masque.

[0082] On appelle $MNR(0,D_0)$ la matrice telle que l'élément (i,j) de la matrice $MNR(0,D_0)$, $i = 1 \text{ à } N$ et $j = 0 \text{ à } M-1$, indique le rapport entre le masque et l'erreur de quantification pour le signal S_i et pour la bande F_j pour la quantification précédemment effectuée.

[0083] Avant de décrire l'itération n°1 du processus Proc1, on indique ci-dessous comment l'équation (2) a été déterminée.

[0084] La figure 8 représente une chaîne de traitement 200 comportant un module 201 de transformation ambiophonique d'ordre p (similaire au module 4 de transformation ambiophonique d'ordre p de la figure 1) suivi d'un module 202 de transformation ambiophonique inverse d'ordre p . Le module 201 de transformation ambiophonique d'ordre p reçoit en entrée les représentations spectrales $X_1, \dots, X_N$ des signaux $S_1, \dots, S_N$, effectue sur ces signaux une transformation ambiophonique d'ordre p , délivre les signaux ambiophoniques obtenus $A_1 \text{ à } A_Q$ au module 202 de transformation ambiophonique inverse d'ordre Q , lequel délivre N signaux de pressions acoustiques respectives Π_i , $i=1 \text{ à } N$.

$$\begin{bmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \vdots \\ \Pi_N \end{bmatrix} = \text{AmbInv}(p) \times \text{Amb}(p) \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix}, \text{ où } \text{Amb}(p) \text{ est la matrice de transformation}$$

ambiophonique d'ordre p et $\text{AmbInv}(p)$ est la matrice de transformation ambiophonique inverse d'ordre p (encore appelée matrice de décodage ambiophonique).

[0086] La figure 9 représente une chaîne de traitement 210 comportant le module 201 de transformation ambiophonique d'ordre p suivi d'un module 203 de quantification, puis un module 204 de quantification inverse, et d'un module 202 de transformation ambiophonique inverse d'ordre p . Le module 201 de transformation ambiophonique d'ordre p en entrée de la chaîne de traitement 210 reçoit en entrée les représentations spectrales $X_1, \dots, X_N$ des signaux $S_1, \dots, S_N$ et délivre les signaux ambiophoniques obtenus $A_1 \text{ à } A_Q$, qui sont fournis en entrée du module 203 de quantification. Les signaux $\bar{A}_1, \dots, \bar{A}_Q$ sont les signaux délivrés au module 202 de transformation ambiophonique inverse par le module 204 de quantification inverse, résultant de la quantification inverse effectuée sur les signaux délivrés par le module 203 de quantification. Le module 202 de transformation ambiophonique inverse d'ordre Q délivre N signaux de pressions acoustiques respectives Π'_i , $i=1 \text{ à } N$.

[0087] La chaîne de traitement 210 de la figure 9 fournit les mêmes pressions acoustiques Π'_i de sortie que la chaîne de traitement 211 représentée en figure 10, dans laquelle le module 201 de transformation ambiophonique d'ordre p se situe entre le module de quantification inverse 204 et le module 202 de transformation ambiophonique inverse d'ordre p . Dans la chaîne de traitement 211, le module 203 de quantification en entrée de la chaîne de traitement 211 reçoit en entrée les représentations spectrales $X_1, \dots, X_N$, les quantifie puis délivre le résultat de cette quantification au module 204 de quantification inverse, qui délivre les N signaux $\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_N$. Ces signaux $\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_N$ sont ensuite fournis aux modules 201 et 202 de transformation ambiophonique et de transformation ambiophonique inverse mis en cascade. Le module 202 de transformation ambiophonique inverse d'ordre p délivre les N signaux de pressions acoustiques respectives Π'_i , $i=1 \text{ à } N$.

[0088] On peut alors écrire :

$$\begin{pmatrix} \Pi'1 \\ \Pi'2 \\ \Pi'N \end{pmatrix} = AmbInv(p) \times Amb(p) \times \begin{pmatrix} \bar{X}1 \\ \bar{X}2 \\ \bar{X}N \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \Pi'1 \\ \Pi'2 \\ \Pi'N \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Pi1 \\ \Pi2 \\ \Pi N \end{pmatrix} = AmbInv(p) \times Amb(p) \times \left(\begin{pmatrix} \bar{X}1 \\ \bar{X}2 \\ \bar{X}N \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X1 \\ X2 \\ XN \end{pmatrix} \right) = AmbInv(p) \times Amb(p) \times \underline{E}. \quad \text{Soit}$$

$$\underline{E} = (AmbInv(p) \times Amb(p))^{-1} \left(\begin{pmatrix} \Pi'1 \\ \Pi'2 \\ \Pi'N \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Pi1 \\ \Pi2 \\ \Pi N \end{pmatrix} \right). \quad \text{Par ailleurs,}$$

$$\begin{pmatrix} \Pi'1 \\ \Pi'2 \\ \Pi'N \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Pi1 \\ \Pi2 \\ \Pi N \end{pmatrix} = AmbInv(p) \times \left(\begin{pmatrix} \bar{A}1 \\ \bar{A}2 \\ \bar{A}Q \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} A1 \\ A2 \\ AQ \end{pmatrix} \right) = AmbInv(p) \times \underline{B}.$$

[0089] Donc on en déduit : $E = (AmbInv(p) \times Amb(p))^{-1} AmbInv(p) \times B$.

Dans le cas où la matrice de décodage ambiophonique correspond à un système à haut-parleurs réguliers, on a

$$AmbInv(p) = \frac{1}{N} Amb(p)^t \quad (\text{en fait, les erreurs de quantification } \underline{E} \text{ ou } \underline{B} \text{ ne dépendent que du codage effectué}$$

et non du décodage. Ce qui changera au niveau du décodage, en fonction de la matrice de décodage utilisée correspondant au système de haut-parleurs utilisé, c'est la façon dont l'erreur sera répartie entre les haut-parleurs. Cela est dû au fait que la psychoacoustique utilisée ne prend pas en compte les interactions entre les signaux. Donc si le calcul est fait pour une matrice de décodage bien définie et que le module de quantification optimise l'erreur pour cette matrice, alors pour les autres matrices de décodage l'erreur sera sous-optimale).

On en déduit donc l'équation (2).

[0090] Revenons à la description de la figure 4.

Itération n°1 :

■ Etape 1c :

[0091] On définit maintenant un deuxième débit D_1 de codage, avec $D_1 = D_0 - \delta_0$, et une répartition de ce débit D_1 bits de codage entre les éléments à coder $A(k,j)$, $k=1$ à Q et $j=0$ à $M-1$.

■ Etape 1d :

[0092] Ensuite, pour chaque couple $(k,j) \in E_0$, considéré successivement depuis le couple (1,0) jusqu'au couple (Q, M-1) selon l'ordre de lecture lexicographique des couples de E_0 , on réitère les opérations a1 à a7 suivantes :

a1- on considère que la sous-bande (k,j) est supprimée pour les opérations a2 à a5 ;

a2- les éléments à coder $A(i,n)$, avec $(i,n) \in E_0 \setminus (k,j)$ (c'est-à-dire (i,n) égal à chacun des couples de E_0 à l'exception du couple (k,j)) sont quantifiés par le module 10 de quantification en fonction d'une répartition définie du débit D_1 entre lesdits éléments à coder $A(i,n)$, avec $(i,n) \in E_0 \setminus (k,j)$;

a3- de la même façon qu'indiquée à l'étape 1b, on calcule à partir des éléments $\bar{A}(i,n)$, $(i,n) \in E_0 \setminus (k,j)$ issus des opérations de quantification effectuées à l'étape a2, la matrice $MNR_{k,j}(1,D_1) = [MNR_{k,j}(1,D_1)(i,t)]_{i=1 \text{ à } N \text{ et } t=0 \text{ à } M-1}$ telle que chaque élément $MNR_{k,j}(1,D_1)(i,t)$ de la matrice indique le rapport entre le masque et l'erreur (ou bruit) de quantification pour chaque signal S_i et pour chaque sous-bande F_t , avec $i=1$ à N et $t=0$ à $M-1$ suite à la quantification effectuée à l'étape a2 (la sous-bande (k,j) étant considérée comme supprimée, le bruit de quantification $b(k,j)$ a été considéré nul dans les calculs). On mémorise les valeurs prises par les éléments de cette matrice $MNR_{k,j}(1,D_1)$;

a4- puis, on calcule et on mémorise la matrice $\Delta MNR_{k,j}(1)$ de variation de rapport entre le masque et l'erreur de quantification $\Delta MNR_{k,j}(1) = |MNR_{k,j}(1,D_1) - \overline{MNR}_{k,j}(0,D_0)|$; avec $\overline{MNR}_{k,j}(0,D_0)$ est la matrice $MNR(0,D_0)$ dont on a supprimé l'élément d'indice (k,j)

a5- on calcule une norme $\|\Delta MNR_{k,j}(1)\|$ de cette matrice $\Delta MNR_{k,j}(1)$. La valeur de cette norme évalue l'impact, sur l'ensemble des rapports signal à bruit des signaux S_i , de la suppression de la composante $A(k,j)$ parmi les éléments à coder $A(i,n)$, avec $(i,n) \in E_0$.

La norme calculée permet de mesurer l'écart entre $MNR_{k,j}(1,D_1)$ et $\overline{MNR}_{k,j}(0,D_0)$ et est par exemple égale à la racine carrée de la somme de chaque élément de la matrice $\Delta MNR_{k,j}(1)$ élevé au carré.

a6- on considère que la sous-bande (k,j) n'est plus supprimée ;

a7- si $(k,j) \neq \max E_0 = (Q,M-1)$, on incrémente le couple (k,j) dans E_0 et on réitère les étapes a1 à a7 jusqu'à atteindre $\max E_0$.

■ Etape 1e :

[0093] On détermine (i_1,j_1) correspondant à la valeur la plus petite parmi les valeurs $\|\Delta MNR_{k,j}(1)\|$, obtenues pour $(k,j) \in E_0$, soit :

[0094] L'élément à coder $A(i_1,j_1)$ est ainsi identifié comme l'élément le moins pertinent quant à la qualité audio globale parmi l'ensemble des éléments à coder $A(i,j)$ avec $(i,j) \in E_0$.

■ Etape 1f :

[0095] L'identifiant du couple (i_1,j_1) est délivrée au module d'ordonnancement 6 en tant que résultat de la première itération du processus Proc1.

■ Etape 1g:

[0096] On supprime alors la bande (i_1,j_1) , de l'ensemble des éléments à coder dans la suite du processus Proc1. On définit l'ensemble $E_1 = E_0 \setminus \{(i_1,j_1)\}$.

Itération 2 et suivantes :

[0097] Des étapes similaires aux étapes 1c à 1g sont effectuées pour chaque itération n , $n \geq 2$, comme décrit ci-après.

■ Etape 1c : on définit maintenant un $(n+1)$ ième débit D_n de codage, avec $D_n = D_{n-1} - \delta_{n-1}$ tel que $\delta_{n-1} = \min(d_{ij})$, pour $(i,j) \in E_{n-1}$.

■ Etape 1d : ensuite, pour chaque couple $(k,j) \in E_{n-1}$ et considéré successivement selon l'ordre lexicographique, on réitère les opérations suivantes a1 à a7 :

a1- on considère que la sous-bande (k,j) est supprimée dans les opérations a2 à a5 ;

a2- les éléments à coder $A(i,n)$, avec $(i,n) \in E_{n-1} \setminus (k,j)$ sont quantifiés par le module 10 de quantification en fonction d'une répartition du débit D_n entre les éléments à coder $A(i,n)$, avec $(i,n) \in E_{n-1} \setminus (k,j)$;

a3- on calcule à partir des éléments $\bar{A}(i,n)$, $(i,n) \in E_{n-1} \setminus (k,j)$ déterminés en fonction de la quantification à l'étape a2, la matrice $MNR_{k,j}(n, D_n)$ indiquant le rapport entre le masque et l'erreur (ou bruit) de quantification pour chaque signal S_i et pour chaque sous-bande F_j , avec $i=1$ à N et $j=0$ à $M-1$, suite à la quantification effectuée à l'étape a2 ;

a4- puis on calcule et on mémorise la matrice de variation de rapport entre le masque et l'erreur de quantification $\Delta MNR_{k,j}(n) = |MNR_{k,j}(n, D_n) - \overline{MNR}_{k,j}(n-1, D_{n-1})|$, avec $\overline{MNR}_{k,j}(n-1, D_{n-1})$ correspond à la matrice $\overline{MNR}(n-1, D_{n-1})$ dont on a supprimé l'élément d'indice (k,j) , et une norme $\|\Delta MNR_{k,j}(n)\|$ de cette matrice $\Delta MNR_{k,j}(n)$. La valeur

de cette norme évalue l'impact, sur l'ensemble des rapports signal à bruit des signaux S_i , de la suppression de la composante $A(k,j)$ parmi les éléments à coder $A(i,n)$, avec $(i,n) \in E_{n-1} \setminus \{(k,j)\}$.

a5- on considère que la sous-bande (k,j) n'est plus supprimée ;

a6-- si $(k,j) \neq \max E_{n-1}$, on incrémente le couple (k,j) dans E_{n-1} et on réitère les étapes a1 à a6 jusqu'à atteindre $\max E_{n-1}$.

■ Etape 1e : on détermine (i_n, j_n) correspondant à la valeur la plus petite parmi les valeurs obtenues $\|\Delta \text{MNR}_{k,j}(n)\|$,

pour $(k, j) \in E_{n-1}$, soit $(i_n, j_n) = \arg \min_{(k,j) \in E_{n-1}} \|\Delta \text{MNR}_{k,j}(n)\|$. On mémorise aussi la matrice

$$\overline{\text{MNR}}(n, D_n) = \text{MNR}_{i_n, j_n}(n, D_n).$$

L'élément à coder $A(i_n, j_n)$ est ainsi identifié comme l'élément le moins pertinent quant à la qualité audio globale parmi l'ensemble des éléments à coder $A(i,j)$, tels que $(i,j) \in E_{n-1}$.

■ Etape 1f : l'identifiant du couple (i_n, j_n) est délivrée au module d'ordonnancement 6 en tant que résultat de la nième itération du processus Proc1.

■ Etape 1g : on supprime alors la bande (i_n, j_n) , de l'ensemble des éléments à coder dans la suite du processus Proc1. On définit l'ensemble $E_n = E_{n-1} \setminus \{(i_n, j_n)\}$.

[0098] On réitère le processus Proc1 r fois et au maximum Q^*M-1 fois.

[0099] Des indices de priorité sont ainsi ensuite attribués par le module 6 d'ordonnancement aux différentes bandes de fréquence, en vue de l'insertion des données de codage dans une séquence binaire.

[0100] Ordonnancement des éléments à coder et constitution d'une séquence binaire sur la base des résultats successivement fournies par les itérations successives du processus Proc1 :

[0101] Dans un mode de réalisation où l'ordonnancement des éléments à coder est réalisé par le module 6 d'ordonnancement sur la seule base des résultats successivement fournies par les itérations successives du processus Proc1 mis en oeuvre par le module 5 de définition des éléments à coder les moins pertinents à l'exclusion des résultats fournis par le processus Proc2, ce dernier définit un ordre desdits éléments à coder, traduisant l'importance des éléments à coder sur le plan de la qualité audio globale.

[0102] En référence à la figure 5a, l'élément à coder $A(i_1, j_1)$ correspondant au couple (i_1, j_1) déterminé lors de la première itération de Proc1 est considéré le moins pertinent sur le plan de la qualité audio globale. Il lui est donc affecté un indice de priorité minimale Prio1 par le module 5.

[0103] L'élément à coder $A(i_2, j_2)$ correspondant au couple (i_2, j_2) déterminé lors de la deuxième itération de Proc1, est considéré comme l'élément à coder le moins pertinent sur le plan de la qualité audio globale, après celui affecté à la priorité Prio1. Il lui est donc affecté un indice de priorité minimale Prio2, avec $\text{Prio2} > \text{Prio1}$. Lorsque le nombre d'itération du processus est strictement inférieur à Q^*M-1 , le module 6 d'ordonnancement ordonne ainsi successivement r éléments à coder affectés chacun à des indices de priorité croissants Prio1, Prio2 à Prio r. Les éléments à coder n'ayant pas été affectés à un ordre de priorité au cours d'une itération du processus Proc1 sont plus importants sur le plan de la qualité audio globale que les éléments à coder auxquels ont été affectés des ordres de priorité.

[0104] Lorsque r est égal à Q^*M-1 fois, tous les éléments à coder sont ordonnés un à un.

[0105] Dans ce qui suit, on considère que le nombre d'itérations r du processus Proc1 effectuées est égal à Q^*M-1 fois.

[0106] L'ordre de priorité affecté à un élément à coder $A(k,j)$ est également affecté à l'élément codé $\bar{A}(k,j)$ résultant d'une quantification de cet élément à coder.

[0107] Le module 8 de constitution de la séquence binaire constitue une séquence binaire correspondant à une trame de chacun des signaux S_i , $i=1$ à N en y intégrant successivement des éléments codés $\bar{A}(k,j)$ par ordre décroissant d'indices de priorité attribués, la séquence binaire étant à transmettre dans le flux binaire Φ .

[0108] Ainsi la séquence binaire constituée est ordonnée conformément à l'ordonnancement effectué par le module 6.

[0109] La séquence binaire est ainsi constituée de composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives, d'éléments à coder provenant d'une scène audio comprenant N signaux avec $N > 1$, et qui sont ordonnés en fonction de leur influence sur des rapports masque à bruit déterminés sur les bandes spectrales.

[0110] Les composantes spectrales de la séquence binaire sont par exemple ordonnées selon le procédé de l'invention.

[0111] Dans un mode de réalisation, seules certaines des composantes spectrales comprises dans la séquence binaire constituée sont ordonnées à l'aide d'un procédé selon l'invention.

[0112] Dans le mode de réalisation considéré ci-dessus, une suppression d'une composante spectrale d'un élément à coder $A(i,j)$ a lieu à chaque itération de l'algorithme Proc1.

[0113] Dans un autre mode de réalisation, on utilise un quantificateur imbriqué pour les opérations de quantification. Dans un tel cas, la composante spectrale d'un élément à coder $A(i_0, j_0)$ identifié n'est pas supprimé, mais un débit réduit

est affecté au codage de cette composante par rapport au codage des autres composantes spectrales d'éléments à coder restant à ordonner.

[0114] Le codeur 1 est ainsi un codeur permettant une adaptabilité en débit prenant en compte les interactions entre les différents signaux monophoniques. Il permet de définir des données compressées optimisant la qualité audio globale perçue.

[0115] Les opérations d'ordonnancement des éléments de la séquence binaire et de constitution de la séquence binaire à l'aide du processus Proc1 ont été décrites ci-dessus pour un mode de réalisation de l'invention dans lequel les éléments à coder comprennent les composantes ambiophoniques des signaux.

[0116] Dans un autre mode de réalisation, un codeur selon l'invention ne code pas ces composantes ambiophoniques, mais les coefficients spectraux $X(i,j)$, $j=0$ à M , des signaux S_i .

[0117] Dans un tel cas, on affecte à la première itération du processus 1 par exemple, un indice de priorité minimum (minimum parmi les éléments restant à ordonner) à l'élément à coder $X(i_1, j_1)$ tel que la suppression de la composante spectrale $X(i_1, j_1)$ donne lieu à une variation minimale de rapport masque à bruit. Puis on réitère le processus Proc1.

Processus Proc2

[0118] Les critères de Gerzon sont généralement utilisés pour caractériser la localisation des sources sonores virtuelles synthétisées par la restitution de signaux depuis les haut-parleurs d'un système de rendu sonore donné.

[0119] Ces critères reposent sur l'étude des vecteurs de vitesse et d'énergie des pressions acoustiques générées par un système de rendu sonore utilisé.

[0120] Lorsqu'un système de rendu sonore comprend L haut-parleurs, les signaux, $i=1$ à L , générés par ces haut-parleurs, sont définies par une pression acoustique T_i et un angle de propagation acoustique ξ_i .

[0121] Le vecteur de vitesse $\vec{V}$ est alors défini ainsi :

$$\vec{V} = \begin{cases} x_v = \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i} \\ y_v = \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i} \end{cases}$$

[0122] Il existe un couple de coordonnées polaires (r_v, ξ_v) tel que :

$$\vec{V} = \begin{cases} x_v = \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i} = r_v \cos \xi_v \\ y_v = \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i} = r_v \sin \xi_v \end{cases} \quad \text{Equation (3)}$$

[0123] Le vecteur d'énergie $\vec{E}$ est défini ainsi :

$$\vec{E} = \begin{cases} x_E = \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2 \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2} \\ y_E = \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2 \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2} \end{cases}$$

[0124] Il existe un couple de coordonnées polaires (r_E, ξ_E) tel que :

$$\vec{E} = \begin{cases} x_E = \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2 \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2} = r_E \cos \xi_E \\ y_E = \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2 \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2} = r_E \sin \xi_E \end{cases} \quad \text{Equation (4)}$$

5

10 **[0125]** Les conditions nécessaires pour que la localisation des sources sonores virtuelles soit optimale se définissent en cherchant les angles ξ_i , caractérisant la position des haut-parleurs du système de rendu sonore considéré, vérifiant les critères ci-dessous, dits critères de Gerzon, qui sont :

- critère 1, relatif à la précision de l'image sonore de la source S en basses fréquences : $\xi_V = \xi$; où est ξ l'angle de propagation de la source S réelle qu'on cherche à atteindre.
- critère 2, relatif à la stabilité de l'image sonore de la source S en basses fréquences : $r_V = 1$;
- critère 3, relatif à la précision de l'image sonore de la source S en hautes fréquences : $\xi_E = \xi$;
- critère 4, relatif à la stabilité de l'image sonore de la source S en hautes fréquences : $r_E = 1$.

15

20 **[0126]** Les opérations décrites ci-dessous dans un mode de réalisation de l'invention utilisent les vecteurs de Gerzon dans une application autre que celle consistant à rechercher les meilleurs angles ξ_i , caractérisant la position des haut-parleurs du système de rendu sonore considéré.

[0127] Les critères de Gerzon reposent sur l'étude des vecteurs de vitesse et d'énergie des pressions acoustiques générées par un système de rendu sonore utilisé.

25 **[0128]** Chacune des coordonnées x_V, y_V, x_E, y_E indiquées dans les équations 3 et 4 relatives aux vecteurs d'énergie et vitesse associés aux critères de Gerzon est élément de $[-1,1]$. Donc il existe un unique couple (ξ_V, ξ_E) vérifiant les équations suivantes, correspondant au cas parfait $(r_V, r_E) = (1,1)$:

30

$$\frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i} = \cos \xi_V, \quad \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i} = \sin \xi_V,$$

35

$$\frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2 \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2} = \cos \xi_E \quad \text{et} \quad \frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2 \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2} = \sin \xi_E.$$

40

[0129] Les angles ξ_V et ξ_E de ce couple unique sont donc définis par les équations suivantes (équations (5)):

45

$$\xi_V = \text{sign} \left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i} \right) \cdot \arccos \left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i} \right)$$

50

$$\xi_E = \text{sign} \left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2 \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2} \right) \cdot \arccos \left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2 \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq L} T_i^2} \right)$$

55

[0130] On appellera par la suite vecteur d'angles de Gerzon généralisé le vecteur $\vec{\xi}$ tel que $\vec{\xi} = \begin{pmatrix} \xi_V \\ \xi_E \end{pmatrix}$.

[0131] Le deuxième algorithme comprend des instructions adaptées pour mettre en oeuvre, lorsqu'elles sont exécutées sur des moyens de traitement du module 5, les étapes du processus Proc2 décrit ci-dessous en référence à la figure 6.

[0132] Le principe du processus Proc2 est le suivant : on calcule l'influence de chaque paramètre spectral, parmi un ensemble de paramètres spectraux à ordonner, sur un vecteur d'angle défini en fonction de vecteurs d'énergie et de vitesse associés à des critères de Gerzon et calculés en fonction d'une transformation ambiophonique inverse sur lesdits composantes ambiophoniques quantifiés. Et on attribue un ordre de priorité à au moins un paramètre spectral en fonction de l'influence calculée pour ledit paramètre spectral comparé aux autres influences calculées.

[0133] Dans un mode de réalisation, le processus Proc2 détaillé est le suivant:

Initialisation (n=0)

■ Etape 2a :

[0134] On définit un débit $D_0 = D_{\max}$ et une allocation de ce débit entre les éléments à coder $A(k,j)$, pour $(k,j) \in E_0 = \{(k,j) \text{ tel que } k=1 \text{ à } Q \text{ et } j=0 \text{ à } M-1\}$.

[0135] On nomme $d_{k,j}$ le débit attribué à l'élément à coder $A(k,j)$, $(k,j) \in E_0$, lors de cette allocation initiale (la somme de ces débits $d_{k,j}$ $i = 1 \text{ à } Q$, $j=0 \text{ à } M-1$ est égale à D_0) et $\delta_0 = \min d_{k,j}$, pour $(k,j) \in E_0$.

■ Etape 2b :

[0136] Puis chaque élément à coder $A(k,j)$, $(k,j) \in E_0$ est quantifié par le module 10 de quantification en fonction du débit $d_{k,j}$ qui lui a été alloué à l'étape 2a.

[0137] $\bar{A}$ est la matrice des éléments $\bar{A}(k,j)$, $k=1 \text{ à } Q$ et $j=0 \text{ à } M-1$. Chaque élément $\bar{A}(k,j)$ est le résultat de la quantification, avec le débit $d_{k,j}$, du paramètre $A(k,j)$, relative à la bande spectrale F_j , de la composante ambiophonique $A(k)$. L'élément $\bar{A}(k,j)$ définit donc la valeur quantifiée de la représentation spectrale pour la bande de fréquence F_j , de la composante ambiophonique $A(k)$ considérée.

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{A}(1,0) & \bar{A}(1,1) & . & . & . & \bar{A}(1,M-1) \\ \bar{A}(2,0) & & & & & \bar{A}(2,M-1) \\ . & & & & & . \\ . & & & & & . \\ \bar{A}(Q,0) & \bar{A}(Q,1) & . & . & . & \bar{A}(Q,M-1) \end{bmatrix},$$

■ Etape 2c :

[0138] Ensuite, on effectue sur ces composantes ambiophoniques quantifiées $\bar{A}(k,j)$, $k=1 \text{ à } Q$ et $j=0 \text{ à } M-1$, un décodage ambiophonique d'ordre p tel que $2p+1=Q$ et qui correspond à un système régulier de N haut-parleurs, pour déterminer les pressions acoustiques $T1i$, $i = 1 \text{ à } N$, des N signaux sonores obtenus en résultat de ce décodage ambiophonique.

[0139] Dans le cas considéré, $\text{AmbInv}(p)$ est la matrice de transformation ambiophonique inverse d'ordre p (ou décodage ambiophonique d'ordre p) délivrant N signaux $T11, \dots, T1N$ correspondant à N haut-parleurs $H'1, \dots, H'N$ respectifs, disposés régulièrement autour d'un point. Par conséquent, la matrice $\text{AmbInv}(p)$ se déduit de la transposition de la matrice $\text{Amb}(p,N)$ qui est la matrice d'encodage ambiophonique résultante de l'encodage de la scène sonore définie par les N sources correspondant aux N haut-parleurs $H'1, \dots, H'N$ et disposés respectivement dans les positions

$\xi_1, \dots, \xi_N$. Ainsi on peut écrire que : $\text{AmbInv}(p) = \frac{1}{N} \text{Amb}(p,N)^t$.

[0140] $T1$ est la matrice des composants spectraux $T1(i,j)$ des signaux $T1i$, $i=1 \text{ à } N$ relatifs aux bandes de fréquences F_j , $j=0 \text{ à } M-1$. Ces composants spectraux sont issus de la transformation ambiophonique inverse d'ordre p appliquée sur les composantes ambiophoniques quantifiées $\bar{A}(k,j)$, $k=1 \text{ à } Q$ et $j=0 \text{ à } M-1$.

$$\underline{T1} = \begin{bmatrix} T1(1,0) & T1(1,1) & . & . & . & T1(1,M-1) \\ T1(2,0) & T1(2,1) & . & . & . & T1(2,M-1) \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ T1(N,0) & . & . & . & . & T1(N,M-1) \end{bmatrix}$$

et on a

$$\underline{T1} = \underline{Amb} \underline{Inv}(p) \times \underline{\bar{A}} = \frac{1}{N} \underline{Amb}(p, N)' \times \underline{\bar{A}} \quad \text{Equation (6)}$$

[0141] Ainsi les composantes $T1(i,j)$, $i=1$ à N , dépendent de l'erreur de quantification relative à la quantification considérée des composantes ambiophoniques $A(k,j)$, $k=1$ à Q et $j=0$ à $M-1$ (en effet, chaque élément quantifié $\bar{A}(k,j)$ est la somme du paramètre spectral $A(k,j)$ de composante ambiophonique à quantifier et du bruit de quantification relatif audit paramètre).

[0142] Pour chaque bande de fréquence F_j , $j=0$ à $M-1$, on calcule alors, à l'aide des équations (5), le vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_j(0)$ à l'initialisation du processus Proc2 ($n=0$), en fonction des composantes spectrales $T1(i,j)$,

$i=1$ à N et $j=0$ à $M-1$ déterminées suite au décodage ambiophonique : $\vec{\xi}_j(0) = \begin{pmatrix} \xi_{vj} \\ \xi_{Ej} \end{pmatrix}$, avec $\xi_i = \frac{2\pi(i-1)}{N}$, $i=1$

à N :

$$\xi_{vj} = \text{sign} \left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq N} T1(i,j) \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq N} T1(i,j)} \right) \cdot \arccos \left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq N} T1(i,j) \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq N} T1(i,j)} \right)$$

$$\xi_{Ej} = \text{sign} \left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq Q} (T1(i,j))^2 \sin \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq Q} T1(i,j)^2} \right) \cdot \arccos \left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq Q} T1(i,j)^2 \cos \xi_i}{\sum_{1 \leq i \leq Q} T1(i,j)^2} \right).$$

[0143] Et on définit $\vec{\xi}_j(0) = \vec{\xi}_j(0)$.

[0144] On notera qu'ici a été considérée une matrice de décodage ambiophonique pour un dispositif de rendu sonore régulier et qui comporte un nombre de haut-parleurs égal au nombre des signaux d'entrées, ce qui simplifie le calcul de la matrice de décodage ambiophonique. Néanmoins, cette étape peut être mise en oeuvre en considérant une matrice de décodage ambiophonique correspondant à des dispositifs de rendu sonore non réguliers et aussi pour un nombre de haut-parleurs différents du nombre des signaux d'entrée.

Itération n°1 ($n=1$)

■ Etape 2d :

[0145] On définit un débit $D_1 = D_0 - \delta_0$ et une allocation de ce débit D_1 entre les éléments à coder $A(k,j)$, pour $(k,j) \in E_0$.

■ Etape 2e :

[0146] Puis chaque élément à coder $A(k,j)$, $(k,j) \in E_0$ est quantifié par le module 10 de quantification en fonction du

débit qui lui a été alloué à l'étape 2d.

[0147] $\bar{A}$ est maintenant la matrice actualisée des éléments quantifiés $\bar{A}(k,j)$, (k,j) et E_0 résultant chacun de cette dernière quantification selon le débit global D_1 , des paramètres $A(k,j)$.

5 **■ Etape 2f :**

[0148] De façon similaire à celle décrite précédemment dans l'étape 2c, après calcul d'un nouveau décodage ambiophonique d'ordre p effectué en fonction des éléments quantifiés avec le débit global D_1 , on calcule, pour l'itération n°1 du processus Proc2, un premier vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_j(1)$ dans chaque bande fréquentielle F_j , en fonction des composantes spectrales $T1(i,j)$, $i=1$ à N , $j=0$ à $M-1$ déterminées suite au nouveau décodage ambiophonique, à l'aide de l'équation (6).

[0149] On calcule ensuite le vecteur $\Delta\vec{\xi}_j(1)$ égal à la différence entre le vecteur d'angles de Gerzon $\vec{\xi}_j(0)$ calculé à l'étape 2c de l'initialisation et le vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_j(1)$ calculé à l'étape 2f de l'itération n°1 : $\Delta\vec{\xi}_j(1) = \vec{\xi}_j(1) - \vec{\xi}_j(0)$, $j=0$ à $M-1$.

■ Etape 2g :

[0150] On calcule la norme $\|\Delta\vec{\xi}_j(1)\|$, dans chaque bande fréquentielle F_j , de la variation $\Delta\vec{\xi}_j(1)$, $j=0$ à $M-1$.

[0151] Cette norme représente la variation du vecteur d'angles de Gerzon généralisé suite à la réduction du débit de D_0 à D_1 dans chaque bande fréquentielle F_j .

[0152] On détermine j_1 l'indice de la bande fréquentielle F_{j_1} telle que la norme $\|\Delta\vec{\xi}_{j_1}(1)\|$ de la variation d'angle de Gerzon calculée dans la bande fréquentielle F_{j_1} soit inférieure ou égale à chaque norme $\|\Delta\vec{\xi}_j(1)\|$, calculée pour chaque bande fréquentielle F_j , $j=0$ à $M-1$. On a donc $j_1 = \arg \min_{j=0 \dots M-1} \|\Delta\vec{\xi}_j(1)\|$.

■ Etape 2h :

[0153] On considère maintenant les paramètres spectraux des composantes ambiophoniques relatifs à la bande spectrale F_{j_1} , soit les paramètres $A(k, j_1)$, avec $k \in F_0 = [1, Q]$.

[0154] Et on réitère les étapes 2h1 à 2h5 suivantes pour tout $i \in F_0$ considéré alternativement depuis 1 jusqu'à Q :

2h1- on considère que la sous-bande (i, j_1) est supprimée pour les opérations 2h2 à 2h4 : on considère donc que $A(i, j_1)$ est nul et que l'élément quantifié correspondant $\bar{A}(i, j_1)$ est aussi nul ;

2h2- De façon similaire à celle décrite précédemment dans l'étape 2c, après calcul d'un décodage ambiophonique d'ordre p effectué en fonction des éléments quantifiés avec le débit global D_1 ($\bar{A}(i, j_1)$ étant nul), on détermine le vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_{j_1}(A(i, j_1) = 0, 1)$ dans la bande fréquentielle F_{j_1} en fonction des composantes spectrales $T1(i, j)$, $i=1$ à N et $j=0$ à $M-1$ déterminées suite audit décodage ambiophonique à l'aide de l'équation (6).

2h3- On calcule ensuite le vecteur $\Delta\vec{\xi}_{j_1}(1)$ représentant la différence dans la bande fréquentielle F_{j_1} entre le vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_{j_1}(A(i, j_1) = 0, 1)$ calculé ci-dessus et le vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_{j_1}(1)$ calculé à l'étape 2f de l'itération n°1 ci-dessus : $\Delta\vec{\xi}_{j_1}(1) = \vec{\xi}_{j_1}(A(i, j_1) = 0, 1) - \vec{\xi}_{j_1}(1)$. Puis on calcule la norme $\|\Delta\vec{\xi}_{j_1}(1)\|$ du vecteur $\Delta\vec{\xi}_{j_1}(1)$: $\|\Delta\vec{\xi}_{j_1}(1)\| = \|\vec{\xi}_{j_1}(A(i, j_1) = 0, 1) - \vec{\xi}_{j_1}(1)\|$.

[0155] Cette norme représente la variation du vecteur d'angles de Gerzon généralisé dans la bande fréquentielle F_{j_1} lorsque pour un débit D_1 , on supprime la composante ambiophonique fréquentielle $A(i, j_1)$.

[0156] 2h4- Si $i \neq \max F_0$, on considère que la sous-bande (i, j_1) n'est plus supprimée et on passe à l'étape 2h5. Si $i = \max F_0$, on considère que la sous-bande (i, j_1) n'est plus supprimée et on passe à l'étape 2i.

[0157] 2h5- On incrémente i dans l'ensemble F_0 et on réitère les étapes 2h1 à 2h4 pour la valeur de i ainsi mise à jour jusqu'à $i = \max F_0$.

[0158] On obtient ainsi Q valeurs de variation d'angle de Gerzon généralisé $\|\Delta_{\xi_{j_1}}^{\tilde{\xi}}(1)\|$, pour chaque $i \in F_0 = [1, Q]$.

■ Etape 2i :

5 **[0159]** On compare entre elles les valeurs $\|\Delta_{\xi_{j_1}}^{\tilde{\xi}}(1)\|$, pour chaque $i \in F_0 = [1, Q]$, on identifie la valeur minimale parmi

ces valeurs et on détermine l'indice $i_1 \in F_0$ correspondant à la valeur minimale, soit $i_1 = \arg \min_{i \in F_0} \|\Delta_{\xi_{i_1}}^{\tilde{\xi}}(1)\|$.

10 **[0160]** La composante $A(i_1, j_1)$ est ainsi identifiée comme l'élément à coder de plus faible importance sur le plan de la précision spatiale, comparé aux autres éléments à coder $A(k, j)$, $(k, j) \in E_0$.

■ Etape 2j :

15 **[0161]** On redéfinit, pour chaque bande spectrale F_j , le vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\tilde{\xi}_j(1)$ issu de l'itération 1, calculé pour un débit D_1 :

$$20 \quad \tilde{\xi}_j(1) = \tilde{\xi}_j(1) \text{ si } j \in [0, M-1] \setminus \{j_1\};$$

$$\tilde{\xi}_{j_1}(1) = \tilde{\xi}_{j_1}(A(i_1, j_1) = 0, 1) \text{ si } j = j_1.$$

25 **[0162]** Ce vecteur redéfini d'angles de Gerzon généralisé, établi pour un débit de quantification égal à D_1 , prend en compte la suppression de l'élément à coder $A(i_1, j_1)$ et sera utilisé pour l'itération suivante du processus Proc2.

■ Etape 2k :

30 **[0163]** L'identifiant du couple (i_1, j_1) est délivré au module d'ordonnancement 6 en tant que résultat de la 1^{ère} itération du processus Proc2.

■ Etape 2m :

35 **[0164]** On supprime alors l'élément à coder $A(i_1, j_1)$ de l'ensemble des éléments à coder dans la suite du processus Proc2.

[0165] On définit l'ensemble $E_1 = E_0 \setminus \{i_1, j_1\}$.

[0166] On définit $\delta_1 = \min d_{k,j}$, pour $(k, j) \in E_1$.

40 **[0167]** Dans une itération n[°] 2 du processus Proc2, on réitère des étapes similaires aux étapes 2d à 2n indiquées ci-dessus.

[0168] Le processus Proc2 est réitéré autant de fois que souhaité pour ordonner entre eux certains ou la totalité des éléments à coder $A(k, j)$, $(k, j) \in E_1$ restant à ordonner.

[0169] Ainsi les étapes 2d à 2n décrites ci-dessus sont réitérées pour une nième itération :

45 Itération n ($n > 1$) :

[0170]

$$50 \quad E_{n-1} = E_0 \setminus \{(i_1, j_1), \dots, (i_{n-1}, j_{n-1})\}.$$

55 **[0171]** Les éléments à coder $A(k, j)$, pour $(k, j) \in E_0 \setminus E_{n-1}$ ont été supprimés au cours des étapes 2m des itérations précédentes.

■ Etape 2d :

[0172] On définit un débit $D_n = D_{n-1} - \delta_{n-1}$ et une allocation de ce débit D_n entre les éléments à coder $A(k,j)$, pour $(k,j) \in E_{n-1}$.

[0173] Lors du calcul des décodages ambiophoniques effectués ci-après, on considère donc que les éléments quantifiés $\bar{A}(k,j)$, pour $(k,j) \in E_0 \setminus E_{n-1}$ sont nuls

■ Etape 2e :

[0174] Puis chaque élément à coder $A(k,j)$, $(k,j) \in E_{n-1}$, est quantifié par le module 10 de quantification en fonction du débit alloué à l'étape 2d ci-dessus.

[0175] Le résultat de cette quantification de l'élément à coder $A(k,j)$ est $\bar{A}(k,j)$, $(k,j) \in E_{n-1}$.

■ Etape 2f :

[0176] De façon similaire à celle décrite précédemment pour l'itération 1, après calcul d'un décodage ambiophonique d'ordre p effectué en fonction des éléments quantifiés avec le débit global D_n (on a donc considéré lors de ce décodage ambiophonique que les composantes $\bar{A}(i_1, j_1), \dots, \bar{A}(i_{n-1}, j_{n-1})$ sont nulles), on calcule, pour l'itération n du processus Proc2, un premier vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\tilde{\xi}_j(n)$ dans chaque bande fréquentielle F_j en fonction des composantes spectrales $T1i$, $i=1$ à N déterminées suite audit décodage ambiophonique, à l'aide de l'équation (6).

[0177] On calcule ensuite le vecteur $\Delta \tilde{\xi}_j(n)$ égal à la différence entre le vecteur d'angles de Gerzon $\tilde{\xi}_j(n-1)$ calculé à l'étape 2j de l'itération n-1 et le vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\tilde{\xi}_j(n)$ calculé à la présente étape :

$$\Delta \tilde{\xi}_j(n) = \tilde{\xi}_j(n) - \tilde{\xi}_j(n-1), j=0 \text{ à } M-1.$$

■ Etape 2g :

[0178] On calcule la norme $\|\Delta \tilde{\xi}_j(n)\|$, dans chaque bande fréquentielle F_j , de la variation $\Delta \tilde{\xi}_j(n)$, $j=0$ à $M-1$.

[0179] Cette norme représente la variation du vecteur d'angles de Gerzon généralisé dans chaque bande fréquentielle F_j , suite à la réduction de débit de D_n à D_{n-1} (les paramètres $A(i_1, j_1), \dots, A(i_{n-1}, j_{n-1})$ et $\bar{A}(i_1, j_1), \dots, \bar{A}(i_{n-1}, j_{n-1})$ étant supprimés).

[0180] On détermine j_n l'indice de la bande fréquentielle F_{j_n} telle que la norme $\|\Delta \tilde{\xi}_{j_n}(n)\|$ de la variation du vecteur d'angles de Gerzon calculée dans la bande fréquentielle F_{j_n} est inférieure ou égale à chaque norme $\|\Delta \tilde{\xi}_j(n)\|$, calculée pour chaque bande fréquentielle F_j , $j=0$ à $M-1$. On a donc $j_n = \arg \min_{j=0 \dots M-1} \|\Delta \tilde{\xi}_j(n)\|$.

■ Etape 2h :

[0181] On considère maintenant les paramètres spectraux des composantes ambiophoniques relatifs à la bande spectrale F_{j_n} , soit les paramètres $A(k, j_n)$, avec $k \in F_{n-1} = \{i \in [1, \dots, Q] \text{ tel que } (i, j_n) \in E_{n-1}\}$.

[0182] Et on réitère les étapes 2h1 à 2h5 suivantes pour tout $i \in F_{n-1}$ considéré alternativement depuis l'élément le plus petit de l'ensemble F_{n-1} (min F_{n-1}) jusqu'à l'élément le plus grand de l'ensemble F_{n-1} (max F_{n-1}) :

2h1- on considère que la sous-bande (i, j_n) est supprimée pour les opérations 2h2 à 2h4 : on considère donc que $A(i, j_n)$ est nul et que l'élément quantifié correspondant $\bar{A}(i, j_n)$ est aussi nul ;

2h2- De façon similaire à celle décrite précédemment dans l'étape 2c, après calcul d'un décodage ambiophonique d'ordre p effectué en fonction des éléments quantifiés avec le débit global D_n ($\bar{A}(i, j_n)$ étant nul), on calcule, le vecteur

d'angles de Gerzon généralisé nommé $\tilde{\xi}_{jn}^*$ ($A(i, j_n) = 0, n$) dans la bande fréquentielle F_{j_n} en fonction des composantes spectrales $T1(i, j)$ $i=1$ à N et $j=0$ à $M-1$ déterminées suite audit décodage ambiophonique, à l'aide de l'équation (6).

2h3- On calcule ensuite le vecteur $\Delta \tilde{\xi}_{jn}^*(n)$ égal à la différence, dans la bande fréquentielle F_{j_n} , entre le vecteur

d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_{jn}(A(i, j_n) = 0, n)$ calculé ci-dessus en 2h2 et le vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_{jn}(n)$ calculé à l'étape 2f de l'itération n ci-dessus : $\Delta\vec{\xi}_{jn}(n) = \vec{\xi}_{jn}(A(i, j_n) = 0, n) - \vec{\xi}_{jn}(n)$.

[0183] Puis on calcule la norme $\|\Delta\vec{\xi}_{jn}(n)\|$ du vecteur $\Delta\vec{\xi}_{jn}(n) : \|\Delta\vec{\xi}_{jn}(n)\| = \|\vec{\xi}_{jn}(A(i, j_n) = 0, n) - \vec{\xi}_{jn}(n)\|$.

[0184] Cette norme représente la variation, dans la bande fréquentielle F_{j_n} , du vecteur d'angles de Gerzon généralisé et pour un débit D_n , due à la suppression de la composante ambiophonique $A(i, j_n)$ lors de la nième itération du processus Proc2.

[0185] 2h4- Si $i \neq \max F_{n-1}$, on considère que la sous-bande (i, j_n) n'est plus supprimée et on va à l'étape 2h5. Si $i = \max F_{n-1}$, on considère que la sous-bande (i, j_n) n'est plus supprimée et on va à l'étape 2i.

[0186] 2h5- On incrémente i dans l'ensemble F_{n-1} et on réitère les étapes 2h1 à 2h4 pour la valeur de i ainsi mise à jour jusqu'à $i = \max F_{n-1}$.

[0187] On obtient ainsi, pour chaque i e F_{n-1} , une valeur $\|\Delta\vec{\xi}_{jn}(n)\|$, représentant la variation du vecteur d'angles de Gerzon généralisé dans la bande fréquentielle F_{j_n} due à la suppression de la composante $A(i, j_n)$.

■ Etape 2i :

[0188] On compare entre elles les valeurs $\|\Delta\vec{\xi}_{jn}(n)\|$, pour chaque i e F_{n-1} , on identifie la valeur minimale parmi ces

valeurs et on détermine l'indice i_n e F_n correspondant à la valeur minimale, soit $i_n = \arg \min_{i \in F_n} \|\Delta\vec{\xi}_{jn}(n)\|$.

[0189] La composante $A(i_n, j_n)$ est ainsi identifiée comme l'élément à coder de plus faible importance sur le plan de la précision spatiale, comparé aux autres éléments à coder $A(k, j)$, (k, j) e E_{n-1} .

■ Etape 2j :

[0190] On redéfinit, pour chaque bande spectrale F_j , un vecteur d'angles de Gerzon généralisé $\vec{\xi}_j(n)$ issu de l'itération n :

$$\vec{\xi}_j(n) = \vec{\xi}_j(n) \text{ si } j \in [0, M-1] \setminus \{j_n\};$$

$$\vec{\xi}_{j_n}(n) = \vec{\xi}_{j_n}(A(i_n, j_n) = 0, n) \text{ si } j = j_n.$$

[0191] Cet angle de Gerzon généralisé redéfini, établi pour un débit de quantification égal à D_n , prend en compte la suppression de l'élément à coder $A(i_n, j_n)$ et sera utilisé pour l'itération suivante.

■ Etape 2k :

[0192] L'identifiant du couple (i_n, j_n) est délivré au module d'ordonnancement 6 en tant que résultat de la nième itération du processus Proc2.

■ Etape 2m :

[0193] On supprime alors la bande (i_n, j_n) de l'ensemble des éléments à coder dans la suite du processus Proc2, c'est-à-dire qu'on supprime l'élément à coder $A(i_n, j_n)$.

[0194] On définit l'ensemble $E_n = E_{n-1} \setminus (i_n, j_n)$. Les éléments à coder $A(i, j)$, avec (i, j) e E_n restent à ordonner. Les éléments à coder $A(i, j)$, avec (i, j) e $\{(i_1, j_1), \dots, (i_n, j_n)\}$ ont déjà été ordonnés lors des itérations 1 à n.

[0195] On réitère le processus Proc2 r fois et au maximum $Q \cdot M - 1$ fois.

[0196] Des indices de priorité sont ainsi ensuite attribués par le module 6 d'ordonnancement aux différents éléments à coder, en vue de l'insertion des données de codage dans une séquence binaire.

[0197] Ordonnancement des éléments à coder et constitution d'une séquence binaire sur la base des résultats

successivement fournies par les itérations successives du processus Proc2 :

[0198] Dans un mode de réalisation où l'ordonnement des éléments à coder est réalisé par le module 6 d'ordonnement sur la base des résultats successivement fournies par les itérations successives du processus Proc2 mis en oeuvre par le module 5 de définition des éléments à coder les moins pertinents (à l'exclusion des résultats fournis par le processus Proc1), le module 6 d'ordonnement définit un ordre desdits éléments à coder, traduisant l'importance des éléments à coder sur le plan de la précision spatiale.

[0199] En référence à la figure 5b, l'élément à coder $A(i_1, j_1)$ correspondant au couple (i_1, j_1) déterminé lors de la première itération du processus Proc2 est considéré comme le moins pertinent sur le plan de la précision spatiale. Il lui est donc affecté un indice de priorité minimale Prio1 par le module 5.

[0200] L'élément à coder $A(i_2, j_2)$ correspondant au couple (i_2, j_2) déterminé lors de la deuxième itération du processus Proc2, est considéré comme l'élément à coder le moins pertinent sur le plan de la précision spatiale, après celui affecté à la priorité Prio1. Il lui est donc affecté un indice de priorité minimale Prio2, avec $Prio2 > Prio1$. Le module 6 d'ordonnement ordonne ainsi successivement r éléments à coder affectés chacun à des indices de priorité croissants Prio1, Prio2 à Prio r .

[0201] Les éléments à coder n'ayant pas été affectés à un ordre de priorité au cours d'une itération du processus Proc2 sont plus importants sur le plan de la précision spatiale que les éléments à coder auxquels a été affecté un ordre de priorité.

[0202] Lorsque r est égal à $Q \cdot M - 1$ fois, l'ensemble des éléments à coder sont ordonnées un à un.

[0203] Dans ce qui suit, on considère que le nombre d'itérations r du processus Proc2 effectuées est égal à $Q \cdot M - 1$ fois.

[0204] L'ordre de priorité affecté à un élément à coder $A(k, j)$ est également affecté à l'élément codé en fonction du résultat $\bar{A}(k, y)$ de la quantification de cet élément à coder. On note ci-dessous également $\bar{A}(k, j)$ l'élément codé correspondant à l'élément à coder $A(k, j)$.

[0205] Le module 8 de constitution de la séquence binaire constitue une séquence binaire Seq correspondant à une trame de chacun des signaux S_i , $i=1$ à N en y intégrant successivement des éléments codés $\bar{A}(k, j)$ par ordre décroissant d'indices de priorité attribués, la séquence binaire Seq étant à transmettre dans le flux binaire Φ .

[0206] Ainsi la séquence binaire constituée Seq est ordonnée conformément à l'ordonnement effectué par le module 6.

[0207] Dans le mode de réalisation considéré ci-dessus, une suppression d'une composante spectrale d'un élément à coder $A(i, j)$ a lieu à chaque itération du processus Proc2.

[0208] Dans un autre mode de réalisation, on utilise un quantificateur imbriqué pour les opérations de quantification. Dans un tel cas, la composante spectrale d'un élément à coder $A(i, j)$ identifiée comme la moins importante sur le plan de la précision spatiale lors d'une itération du processus Proc2 n'est pas supprimée, mais un débit réduit est affecté au codage de cette composante par rapport au codage des autres composantes spectrales d'éléments à coder restant à ordonner.

[0209] Le codeur 1 est ainsi un codeur permettant une adaptabilité en débit prenant en compte les interactions entre les différents signaux monophoniques. Il permet de définir des données compressées optimisant la précision spatiale perçue.

Combinaison des processus Proc1 et Proc2

[0210] Dans un mode de réalisation, on définit les éléments à coder les moins importants à l'aide d'un processus Proc combinant les processus Proc1 et Proc2 décrits ci-dessus, en fonction de critères prenant en compte la qualité audio globale et la pertinence spatiale.

[0211] L'initialisation du processus Proc comporte les initialisations des processus Proc1 et Proc2 comment décrits plus haut.

[0212] Une itération n ($n > 1$) d'un tel processus Proc va être maintenant décrite en référence à la figure 11, en considérant un $(n+1)$ ème débit D_n de codage et un ensemble d'éléments à coder $A(k, j)$ avec $(k, j) \in E_{n-1}$ avec à ordonner.

[0213] Ces débit et ensemble d'éléments à coder sont déterminés lors d'itérations précédentes du processus Proc sur la base d'itérations précédentes du processus Proc à l'aide des processus Proc1 et Proc2. Les itérations précédentes ont permis la détermination d'éléments à coder déterminés les moins importants en fonction de critères définis.

[0214] Ces critères définis ont été établis en fonction de la qualité audio globale et de la précision spatiale souhaitées.

[0215] On met en oeuvre sur cet ensemble d'éléments à ordonner en parallèle une itération des étapes 1d et 1e du processus Proc1, identifiant l'élément à coder $A(i_{n1}, j_{n1})$ le moins pertinent sur le plan de la qualité audio globale et une itération des étapes 2e à 2i du processus Proc2, identifiant l'élément à coder $A(i_{n2}, j_{n2})$ le moins pertinent sur le plan de la précision spatiale.

[0216] En fonction des critères définis, on sélectionne à l'étape 300, un seul des deux éléments à coder identifiés ou encore les deux éléments à coder identifiés. On repère par $A(i_n, j_n)$ celui ou chaque élément à coder sélectionné.

[0217] Puis, d'une part, on fournit le ou les identifiants du couple (i_n, j_n) au module d'ordonnement 6 en tant que

résultat de la nième itération du processus Proc2, qui lui attribue une priorité Prion au vu des critères définis. La priorité Prion affectée est supérieure à la priorité des éléments à coder sélectionnés au cours des itérations précédentes du processus Proc en fonction des critères définis. Cette étape remplace les étapes 1f du processus Proc1 et 2k du processus Proc2 tels que décrits précédemment.

[0218] Le ou les éléments à coder $A(i_n, j_n)$ sélectionnés sont ensuite insérés dans la séquence binaire à transmettre avant les éléments à coder sélectionnés au cours des itérations précédentes du processus Proc (car l'élément à coder $A(i_n, j_n)$ est plus important sur le plan des critères définis que les éléments à coder sélectionnés précédemment par le processus Proc). Le ou les éléments à coder $A(i_n, j_n)$ sélectionnés sont insérés dans la séquence binaire à transmettre après les autres éléments à coder de l'ensemble E_{n-1} (car l'élément à coder $A(i_n, j_n)$ est moins important sur le plan des critères définis que ces autres éléments à coder).

[0219] D'autre part, dans une étape 301, on supprime le ou les éléments à coder $A(i_n, j_n)$ sélectionné pour l'itération suivante (itération $n+1$) du processus Proc (comprenant une itération $n+1$ pour les processus Proc1 et Proc2), qui s'appliqueront alors à l'ensemble des éléments à coder $E_n = E_{n-1} \setminus (A(i_n, j_n))$, sur la base d'un débit réduit comme défini dans l'étape 1c du processus Proc1 et l'étape 2n du processus Proc2.

[0220] Cette étape 301 remplace les étapes 1g du processus Proc1 et 2m du processus Proc2 tels que décrits précédemment.

[0221] Les critères définis permettent de sélectionner celui ou ceux des éléments les moins pertinents identifiés respectivement lors de l'étape 300 du processus Proc.

[0222] Par exemple, dans un mode de réalisation, on supprime l'élément identifié par le processus Proc1 à chaque itération n , avec n pair et on supprime l'élément identifié par le processus Proc2 à chaque itération n avec n impair, ce qui permet de préserver au mieux la qualité audio globale et la précision spatiale.

[0223] D'autres critères peuvent être utilisés. Un codage mettant en oeuvre un tel processus Proc permet ainsi d'obtenir un flux binaire adaptable en débit sur le plan de la qualité audio et sur la plan de la précision spatiale.

Opérations réalisées au niveau du décodeur

[0224] Le décodeur 100 comprend un module de lecture de séquence binaire 104, un module de quantification inverse 105, un module 101 de transformation ambiophonique inverse et un module 102 de transformation fréquence/temps.

[0225] Le décodeur 100 est adapté pour recevoir en entrée le flux binaire Φ transmis par le codeur 1 et pour délivrer en sortie Q' signaux $S'_1, S'_2, \dots, S'_{Q'}$ destinés à alimenter les Q' haut-parleurs $H_1, \dots, H_{Q'}$ respectifs d'un système de rendu sonore 103. Le nombre de haut-parleurs Q' peut dans un mode de réalisation être différent du nombre Q de composantes ambiophoniques transmises.

[0226] A titre d'exemple, la configuration d'un système de rendu sonore comprenant 8 haut-parleurs $h_1, h_2, \dots, h_8$ est représentée en figure 7.

[0227] Le module 104 de lecture de séquence binaire extrait de la séquence binaire Φ reçue des données indiquant les indices de quantification déterminés pour des éléments $\bar{A}(k, j)$, $k=1$ à Q et $j=0$ à $M-1$ et les fournit en entrée du module 105 de quantification inverse.

[0228] Le module 105 de quantification inverse effectue une opération de quantification inverse.

[0229] Les éléments de la matrice $\bar{A}'$ des éléments $\bar{A}'(k, j)$, $k=1$ à Q et $j=0$ à $M-1$, sont déterminés, tels que $\bar{A}'(k, j) = \bar{A}(k, j)$ lorsque la séquence reçue comportait des données indiquant l'indice de quantification de l'élément $\bar{A}(k, j)$ issu du codage des paramètres $A(k, j)$ des composantes ambiophoniques par le décodeur 100 et $\bar{A}'(k, j) = 0$ lorsque la séquence reçue ne comportait pas de données indiquant l'indice de quantification de l'élément $\bar{A}(k, j)$ (par exemple ces données ont été coupées lors de la transmission de la séquence au niveau d'un serveur de streaming pour s'adapter au débit disponible dans le réseau et/ou aux caractéristiques du terminal).

[0230] Le module 101 de transformation spatiale inverse est adapté pour déterminer les éléments $X'(i, j)$, $i=1$ à Q' , $j=0$ à $M-1$, de la matrice X' définissant les M coefficients spectraux $X'(i, j)$, $i=1$ à Q' , $j=0$ à $M-1$, de chacun des Q' signaux S'_i , à partir des composantes ambiophoniques $A'(k, j)$, $k=1$ à Q et $j=0$ à $M-1$, déterminées par le module 105 de quantification inverse..

[0231] $\text{Amblnv}(p', Q')$ est la matrice de transformation ambiophonique inverse d'ordre p' pour la scène 3D adaptée pour déterminer les Q' signaux S'_i , $i=1$ à Q' , destinés aux Q' haut-parleurs du système de rendu sonore associé au décodeur 100, à partir des Q composantes ambiophoniques reçues. Les angles π_i , pour $i=1$ à Q' , indiquent l'angle de propagation acoustique depuis le haut-parleur H_i . Dans l'exemple représenté en figure 7, ces angles correspondent aux angles entre l'axe de propagation d'un son émis par un haut-parleur et l'axe XX .

[0232] X' est la matrice des composants spectraux $X'(i, j)$ des signaux S'_i , $i=1$ à Q' relatifs aux bandes de fréquences F_j , $j=0$ à $M-1$. Ainsi :

$$\underline{\bar{A}'} = \begin{bmatrix} \bar{A}'(1,0) & \bar{A}'(1,1) & . & . & . & \bar{A}'(1,M-1) \\ \bar{A}'(2,0) & & & & & \bar{A}'(2,M-1) \\ . & & & & & . \\ . & & & & & . \\ \bar{A}'(Q,0) & \bar{A}'(Q,1) & . & . & . & \bar{A}'(Q,M-1) \end{bmatrix},$$

$$\underline{\text{Amblnv}(p', Q')} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \cos \beta_1 & \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sin \beta_1 & . & . & \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sin p' \beta_1 \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \cos \beta_2 & . & . & . & \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sin p' \beta_2 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \cos \beta_{Q'} & . & . & . & \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sin p' \beta_{Q'} \end{bmatrix}$$

et

$$\underline{X'} = \begin{bmatrix} X'(1,0) & X'(1,1) & . & . & . & X'(1,M-1) \\ X'(2,0) & X'(2,1) & . & . & . & X'(2,M-1) \\ . & & & & & . \\ . & & & & & . \\ . & & & & & . \\ X'(Q',0) & . & . & . & . & X'(Q',M-1) \end{bmatrix}$$

et on a

$$\underline{X'} = \underline{\text{Amblnv}(p', Q')} \times \underline{\bar{A}'}$$

Equation (7).

[0233] Le module 101 de transformation spatiale inverse est adapté pour déterminer les coefficients spectraux $X'(i, j)$, $i=1$ à Q' , $j=0$ à $M-1$, éléments de la matrice $\underline{X'}$, à l'aide de l'équation (7).

[0234] Ces éléments $X'(i, j)$, $i=1$ à Q' , $j=0$ à $M-1$, une fois déterminés, sont délivrées en entrée du module 102 de transformation fréquence/temps.

[0235] Le module 102 de transformation fréquence/temps du décodeur 100 effectue une transformation de l'espace de représentation fréquentielle vers l'espace de représentation temporelle sur la base des coefficients spectraux reçus $X'(i, j)$, $i=1$ à Q' , $j=0$ à $M-1$ (cette transformation est dans le cas présent, une MDCT inverse), et il détermine ainsi une trame temporelle de chacun des Q' signaux $S'_1, \dots, S'_{Q'}$.

[0236] Chaque signal S'_i , $i=1$ à Q' , est destiné au haut-parleur H_i du système de rendu sonore 103.

[0237] Certaines au moins des opérations effectuées par le décodeur sont dans un mode de réalisation mises en oeuvre suite à l'exécution sur des moyens de traitement du décodeur, d'instructions de programme d'ordinateur.

[0238] Un avantage du codage des composantes issues de la transformation ambiophonique des signaux $S_1, \dots, S_N$

tel que décrit est que dans le cas où le nombre de signaux N de la scène sonore est grand, il est possible de les représenter par un nombre Q de composantes ambiophoniques bien inférieur à N , en dégradant très peu la qualité spatiale des signaux. Le volume de données à transmettre est donc réduit et ceci sans dégradation importante de la qualité audio de la scène sonore.

[0239] Un autre avantage d'un codage selon l'invention est qu'un tel codage permet une adaptabilité aux différents types de systèmes de rendu sonores, quels que soient le nombre, la disposition et le type de haut-parleurs dont le système de rendu sonore est muni.

[0240] En effet, un décodeur recevant une séquence binaire comprenant Q composantes ambiophoniques opère sur celles-ci une transformation ambiophonique inverse d'ordre p' quelconque et correspondant au nombre Q' de haut-parleurs du système de rendu sonore auquel sont destinés les signaux une fois décodés.

[0241] Un codage tel qu'effectué par le codeur 1 permet d'ordonner les éléments à coder en fonction de leur apport respectif sur la qualité audio à l'aide du premier processus Proc1 et/ou en fonction de leur apport respectif sur la précision spatiale et le respect de la reproduction des directions contenus dans la scène sonore, à l'aide du deuxième processus Proc2.

[0242] Pour s'adapter aux contraintes de débit imposées, il suffit de tronquer la séquence des éléments de priorités inférieures disposés dans la séquence. Il est garanti qu'alors la meilleure qualité audio globale (quand le processus Proc1 est mis en oeuvre) et/ou la meilleure précision spatiale (quand le processus Proc2 est mis en oeuvre) est fournie. En effet l'ordonnancement des éléments a été fait de façon à ce que les éléments qui apportent le moins à la qualité audio globale et/ou la précision spatiale soient mis à la fin de la séquence.

[0243] Les processus Proc1 et Proc 2 peuvent être mis en oeuvre, suivant les modes de réalisations, en combinaison ou alors seuls, indépendamment l'un de l'autre pour définir une séquence binaire.

Revendications

1. Procédé d'ordonnancement de composantes spectrales d'éléments à coder ($A_1, \dots, A_Q$) provenant d'une scène audio comprenant N signaux ($S_{i=1 \text{ à } N}$), avec $N > 1$, un élément à coder comportant des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives, **caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes suivantes :

- calcul de l'influence respective d'au moins certaines composantes spectrales calculables en fonction de paramètres spectraux issus de certains au moins des N signaux, sur des rapports masque à bruit déterminés sur les bandes spectrales en fonction d'un codage desdites composantes spectrales ;
- attribution d'un ordre de priorité à au moins une composante spectrale en fonction de l'influence calculée pour ladite composante spectrale comparée aux autres influences calculées,

l'influence d'une composante donnée étant calculée par estimation d'une variation entre :

- un premier rapport masque à bruit déterminé en fonction d'un codage desdites composantes spectrales selon un premier débit, et
- un second rapport masque à bruit déterminé en fonction d'un codage de composantes spectrales desquelles est supprimée ladite composante donnée, selon un second débit inférieur au premier débit.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le calcul de l'influence d'une composante spectrale s'effectue selon les étapes :

- a- codage d'un premier ensemble de composantes spectrales d'éléments à coder selon un premier débit;
- b- détermination d'un premier rapport masque à bruit par bande spectrale;
- c- détermination d'un second débit inférieur au dit premier;
- d- suppression de ladite composante spectrale courante des éléments à coder et codage des composantes spectrales restantes des éléments à coder selon le second débit;
- e- détermination d'un second rapport masque à bruit par bande spectrale;
- f- calcul d'une variation de rapport masque à bruit en fonction des écarts déterminés entre les premier et second rapports masque à bruit pour le premier et le second débit par bande spectrale;
- g- itération des étapes d à f pour chacune des composantes spectrales de l'ensemble de composantes spectrales d'éléments à coder à ordonner et détermination d'une variation de rapport masque à bruit minimum; l'ordre de priorité attribué à la composante spectrale correspondant à la variation minimum étant un ordre de priorité minimum.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** on réitère les étapes a à g avec un ensemble de composantes spectrales d'éléments à coder à ordonner restreint par suppression des composantes spectrales pour lesquelles un ordre de priorité a été attribué.

4. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** on réitère les étapes a à g avec un ensemble de composantes spectrales d'éléments à coder à ordonner dans lequel les composantes spectrales pour lesquelles un ordre de priorité a été attribué sont affectées d'un débit de quantification plus réduit lors de l'utilisation d'un quantificateur imbriqué.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel les éléments à coder comprennent les paramètres spectraux calculés pour les N signaux.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel les éléments à coder comprennent des éléments (A1,..., AQ) obtenus par transformation spatiale des paramètres spectraux calculés pour les N signaux.

7. Procédé selon la revendication 6, selon lequel la transformation spatiale est une transformation ambiophonique.

8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, selon lequel on détermine les rapports masque à bruit en fonction des erreurs due au codage et relatives à des éléments à coder, d'une matrice de transformation spatiale et d'une matrice déterminée en fonction de la transposée de ladite matrice de transformation spatiale.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes et la revendication 6, certaines des composantes spectrales étant alors des paramètres spectraux de composantes ambiophoniques, ledit procédé comportant en outre les étapes suivantes :

a. calcul de l'influence respective d'au moins certains desdits paramètres spectraux, sur un vecteur d'angle défini en fonction de vecteurs d'énergie et de vitesse associés à des critères de Gerzon et calculés en fonction d'une transformation ambiophonique inverse sur lesdits composantes ambiophoniques quantifiés;

b. attribution d'un ordre de priorité (Prio0) à au moins un paramètre spectral en fonction de l'influence calculée pour ledit paramètre spectral comparé aux autres influences calculées.

10. Codeur audio (1) adapté pour coder une scène audio 3D comprenant N signaux respectifs en un flux binaire de sortie, avec $N > 1$, comprenant :

- un module (3,4) de transformation adapté pour déterminer, en fonction des N signaux, des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives;

- un module (6) d'ordonnement, adapté pour ordonner au moins certaines des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives, par la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 9;

- un module (8) de constitution d'une séquence binaire adapté pour constituer une séquence binaire comportant des données indiquant des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives en fonction de l'ordonnement effectué par le module d'ordonnement.

11. Programme d'ordinateur à installer dans un module d'ordonnement (6), ledit programme comprenant des instructions pour mettre en oeuvre les étapes d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 lors d'une exécution du programme par des moyens de traitement dudit module.

12. Signal comportant des composantes spectrales se rapportant à des bandes spectrales respectives d'éléments à coder provenant d'une scène audio comprenant N signaux avec $N > 1$, **caractérisé en ce que** lesdites composantes spectrales sont ordonnées par la mise en oeuvre du procédé d'ordonnement selon l'une des revendications 1 à 9.

Claims

1. Method for ordering spectral components of elements to be coded ($A_1, \dots, A_Q$) originating from an audio scene comprising N signals ($S_{i=1 \text{ to } N}$), with $N > 1$, an element to be coded comprising spectral components associated with respective spectral bands, **characterized in that** it comprises the following steps:

- calculation of the respective influence of at least some of said spectral components which can be calculated as a function of spectral parameters originating from at least some of the N signals, on mask to noise ratios determined over the spectral bands as a function of a coding of said spectral components;
- allocating of an order of priority to at least one spectral component as a function of the influence calculated for said spectral component compared with the other calculated influences,

the influence of a given component being calculated by estimating a variation between:

- a first mask to noise ratio determined as a function of a coding of said spectral components according to a first rate, and
- a second mask to noise ratio determined as a function of a coding of spectral components from which said given component is deleted, according to a second throughput lower than the first rate.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the calculation of the influence of a spectral component is performed according to the steps:

- a- coding of a first set of spectral components of elements to be coded according to a first rate;
- b- determination of a first mask to noise ratio per spectral band;
- c- determination of a second rate lower than said first;
- d- deletion of said current spectral component of the elements to be coded and coding of the remaining spectral components of the elements to be coded according to the second rate;
- e- determination of a second mask to noise ratio per spectral band;
- f- calculation of a variation of mask to noise ratio as a function of the differences determined between the first and second mask to noise ratios for the first and the second rate per spectral band;
- g- repetition of steps d to f for each of the spectral components of the set of spectral components of elements to be coded to be ordered and determination of a minimum mask to noise ratio variation; the order of priority allocated to the spectral component corresponding to the minimum variation being an order of minimum priority.

3. Method according to Claim 2, **characterized in that** steps a to g are repeated with a set of spectral components of elements to be coded to be ordered restricted by deletion of the spectral components for which an order of priority has been allocated.

4. Method according to Claim 2, **characterized in that** steps a to g are repeated with a set of spectral components of elements to be coded to be ordered in which the spectral components for which an order of priority has been allocated are assigned a quantization rate which is more reduced during the use of an imbricated quantizer.

5. Method according to any one of the preceding claims, according to which the elements to be coded comprise the spectral parameters calculated for the N signals.

6. Method according to any one of the preceding claims, according to which the elements to be coded comprise elements (A1,...,AQ) obtained by spatial transformation of the spectral parameters calculated for the N signals.

7. Method according to Claim 6, according to which the spatial transformation is an ambiophonic transformation.

8. Method according to Claim 6 or 7, according to which the mask to noise ratios are determined as a function of the errors due to the coding and relating to elements to be coded, of a spatial transformation matrix and of a matrix determined as a function of the transpose of said spatial transformation matrix.

9. Method according to any one of the preceding claims and Claim 6, some of the spectral components then being spectral parameters of ambiophonic components, said method furthermore comprising the following steps:

- a. calculation of the respective influence of at least some of said spectral parameters, on an angle vector defined as a function of energy and velocity vectors associated with Gerzon criteria and calculated as a function of an inverse ambiophonic transformation on said quantized ambiophonic components;
- b. allocating an order of priority (Prio0) to at least one spectral parameter as a function of the influence calculated for said spectral parameter compared with the other calculated influences.

10. Audio coder (1) adapted for coding a 3D audio scene comprising N respective signals as a binary output stream,

with $N > 1$, comprising:

- a transformation module (3,4) adapted for determining, as a function of the N signals, spectral components associated with respective spectral bands;
- an ordering module (6), adapted for ordering at least some of the spectral components associated with respective spectral bands, by implementing the method according to one of Claims 1 to 9;
- a module (8) for constructing a binary sequence, adapted for constructing a binary sequence comprising data indicating spectral components associating with respective spectral bands as a function of the ordering performed by the ordering module.

11. Computer program to be installed in an ordering module (6), said program comprising instructions for implementing the steps of a method according to any one of Claims 1 to 9 during an execution of the program by processing means of said module.

12. Signal comprising spectral components associated with respective spectral bands of elements to be coded originating from an audio scene comprising N signals with $N > 1$, **characterized in that** said spectral components are ordered by implementing the ordering method according to one of Claims 1 to 9.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ordnung von Spektralkomponenten zu codierender Elemente $(A_1, \dots, \Delta_Q)$, die von einer Audioszene kommen, welche N Signale ($S_{i=1}$ bis N) mit $N > 1$ enthält, wobei ein zu codierendes Element Spektralkomponenten aufweist, die sich auf jeweilige Spektralbänder beziehen, **dadurch gekennzeichnet, dass** es die folgenden Schritte aufweist:

- Berechnung des jeweiligen Einflusses mindestens bestimmter Spektralkomponenten, die abhängig von Spektralparametern berechnet werden können, welche von mindestens bestimmten der N Signale stammen, auf Maske-zu-Rauschen-Verhältnisse, die in den Spektralbändern abhängig von einer Codierung der Spektralkomponenten bestimmt werden;
- Zuweisung einer Prioritätsreihenfolge zu mindestens einer Spektralkomponente abhängig von dem für die Spektralkomponente berechneten Einfluss verglichen mit den anderen berechneten Einflüssen,

wobei der Einfluss einer gegebenen Komponente berechnet wird durch Schätzung einer Variation zwischen:

- einem ersten Maske-zu-Rauschen-Verhältnis, das abhängig von einer Codierung der Spektralkomponenten gemäß einem ersten Durchsatz bestimmt wird, und
- einem zweiten Maske-zu-Rauschen-Verhältnis, das abhängig von einer Codierung von Spektralkomponenten, von denen die gegebene Komponente entfernt wurde, gemäß einem zweiten Durchsatz geringer als der erste Durchsatz bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung des Einflusses einer Spektralkomponente gemäß den folgenden Schritten ausgeführt wird:

- a- Codierung einer ersten Einheit von Spektralkomponenten zu codierender Elemente gemäß einem ersten Durchsatz;
- b- Bestimmung eines ersten Maske-zu-Rauschen-Verhältnisses pro Spektralband;
- c- Bestimmung eines zweiten Durchsatzes geringer als der erste;
- d- Entfernen der laufenden Spektralkomponente aus den zu codierenden Elementen und Codierung der verbleibenden Spektralkomponenten der zu codierenden Elemente gemäß dem zweiten Durchsatz;
- e- Bestimmung eines zweiten Maske-zu-Rauschen-Verhältnisses pro Spektralband;
- f- Berechnung einer Variation eines Maske-zu-Rauschen-Verhältnisses abhängig von den bestimmten Abständen zwischen dem ersten und dem zweiten Maske-zu-Rauschen-Verhältnis für den ersten und zweiten Durchsatz pro Spektralband;
- g- Wiederholung der Schritte d bis f für jede der Spektralkomponenten der Einheit von zu ordnenden Spektralkomponenten zu codierender Elemente und Bestimmung einer Mindestvariation des Maske-zu-Rauschen-Verhältnisses; wobei die der der Mindestvariation entsprechenden Spektralkomponente zugewiesene Prioritätsreihenfolge eine Mindest-Prioritätsreihenfolge ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte a bis g mit einer Einheit von zu ordnenden Spektralkomponenten zu codierender Elemente wiederholt werden, die durch Entfernen der Spektralkomponenten eingeschränkt wird, für die eine Prioritätsreihenfolge zugewiesen wurde.
- 5 4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte a bis g mit einer Einheit von zu ordnenden Spektralkomponenten zu codierender Elemente wiederholt werden, bei der den Spektralkomponenten, denen eine Prioritätsreihenfolge zugewiesen wurde, bei der Nutzung eines verschachtelten Quantifikators ein reduzierter Quantisierungsdurchsatz zugeteilt wird.
- 10 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gemäß dem die zu codierenden Elemente die für die N Signale berechneten Spektralparameter enthalten.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gemäß dem die zu codierenden Elemente Elemente (A1, ..., AQ) enthalten, die durch räumliche Transformation der für die N Signale berechneten Spektralparameter erhalten werden.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch 6, gemäß dem die räumliche Transformation eine Surround-Sound-Transformation ist.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, gemäß dem die Maske-zu-Rauschen-Verhältnisse abhängig von den Fehlern aufgrund der Codierung und bezüglich der zu codierenden Elemente, einer räumlichen Transformationsmatrix und einer Matrix bestimmt werden, die abhängig von der Transponierten der räumlichen Transformationsmatrix bestimmt wird.
- 20 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche und Anspruch 6, wobei bestimmte der Spektralkomponenten dann Spektralparameter von Surround-Sound-Komponenten sind, wobei das Verfahren außerdem die folgenden Schritte aufweist:
 - a. Berechnung des jeweiligen Einflusses mindestens bestimmter der Spektralparameter auf einen Winkelvektor, der abhängig von Energie- und Geschwindigkeitsvektoren definiert wird, die Gerzon-Kriterien zugeordnet sind und abhängig von einer inversen Surround-Sound-Transformation an den quantisierten Surround-Sound-Komponenten berechnet werden;
 - b. Zuweisung einer Prioritätsreihenfolge (Prio0) zu mindestens einem Spektralparameter abhängig vom für den Spektralparameter berechneten Einfluss verglichen mit den anderen berechneten Einflüssen.
- 25 10. Audiocodierer (1), der geeignet ist, um eine 3D-Audioszene zu codieren, die N Signale und einen Ausgangs-Binärstrom enthält, mit $N > 1$, der enthält:
 - ein Transformationsmodul (3, 4), das geeignet ist, um abhängig von den N Signalen Spektralkomponenten zu bestimmen, die sich auf jeweilige Spektralbänder beziehen;
 - 30 - ein Ordnungsmodul (6), das geeignet ist, um mindestens bestimmte der Spektralkomponenten, die sich auf bestimmte Spektralbänder beziehen, durch die Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zu ordnen;
 - ein Modul (8) zur Bildung einer Binärfolge, das geeignet ist, um eine Binärfolge zu bilden, die Daten aufweist, welche Spektralkomponenten anzeigen, die sich auf jeweilige Spektralbänder beziehen, abhängig von der vom Ordnungsmodul ausgeführten Ordnung.
- 35 11. Computerprogramm, das in einem Ordnungsmodul (6) eingerichtet werden soll, wobei das Programm Anweisungen enthält, um die Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 bei einer Ausführung des Programms durch Verarbeitungseinrichtungen des Moduls durchzuführen.
- 40 12. Signal, das Spektralkomponenten aufweist, die sich auf jeweilige Spektralbänder zu codierender Elemente beziehen, die von einer Audioszene kommen, die N Signale enthält, mit $N > 1$, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spektralkomponenten durch die Durchführung des Ordnungsverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 geordnet werden.
- 45 50 55

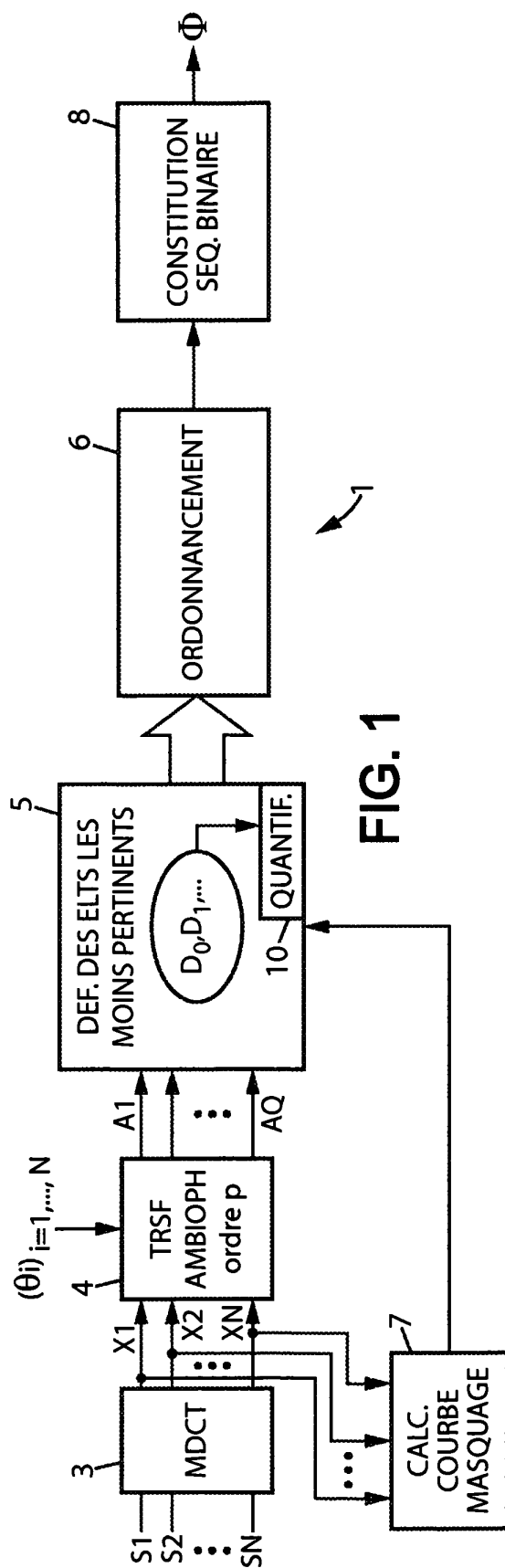


FIG. 1

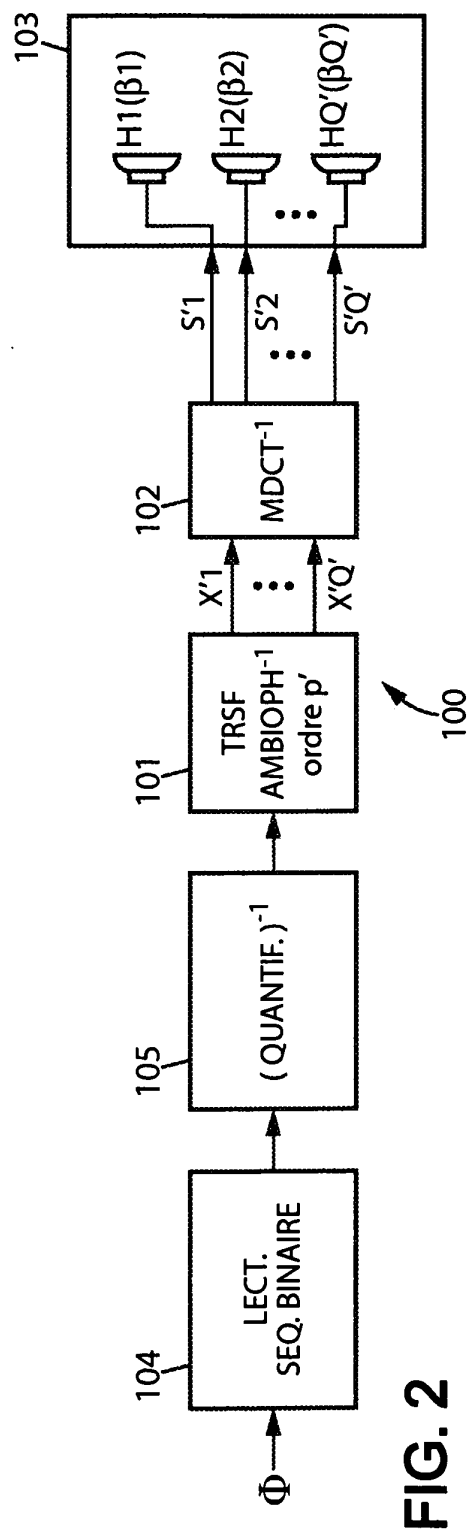
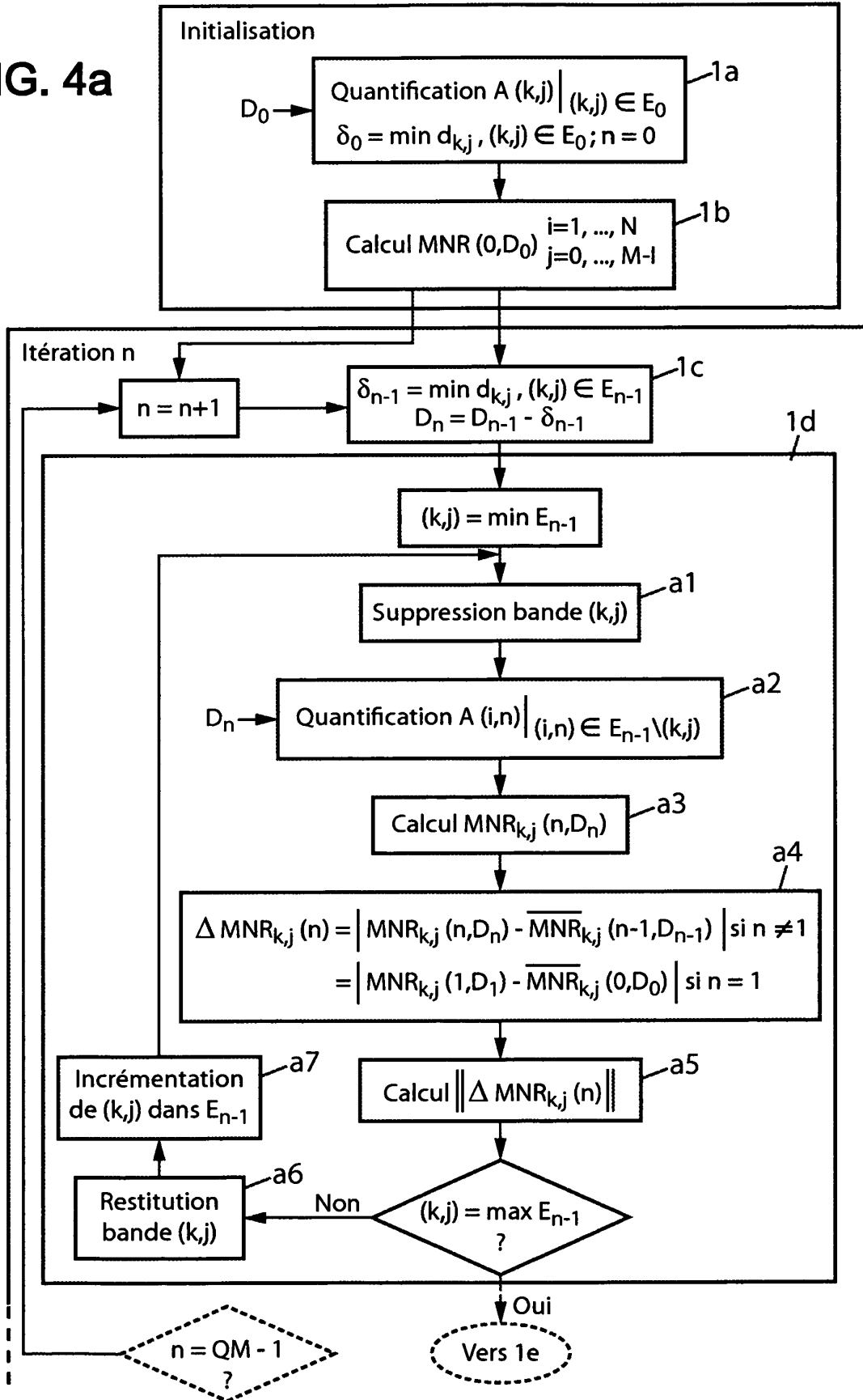


FIG. 2

FIG. 4a



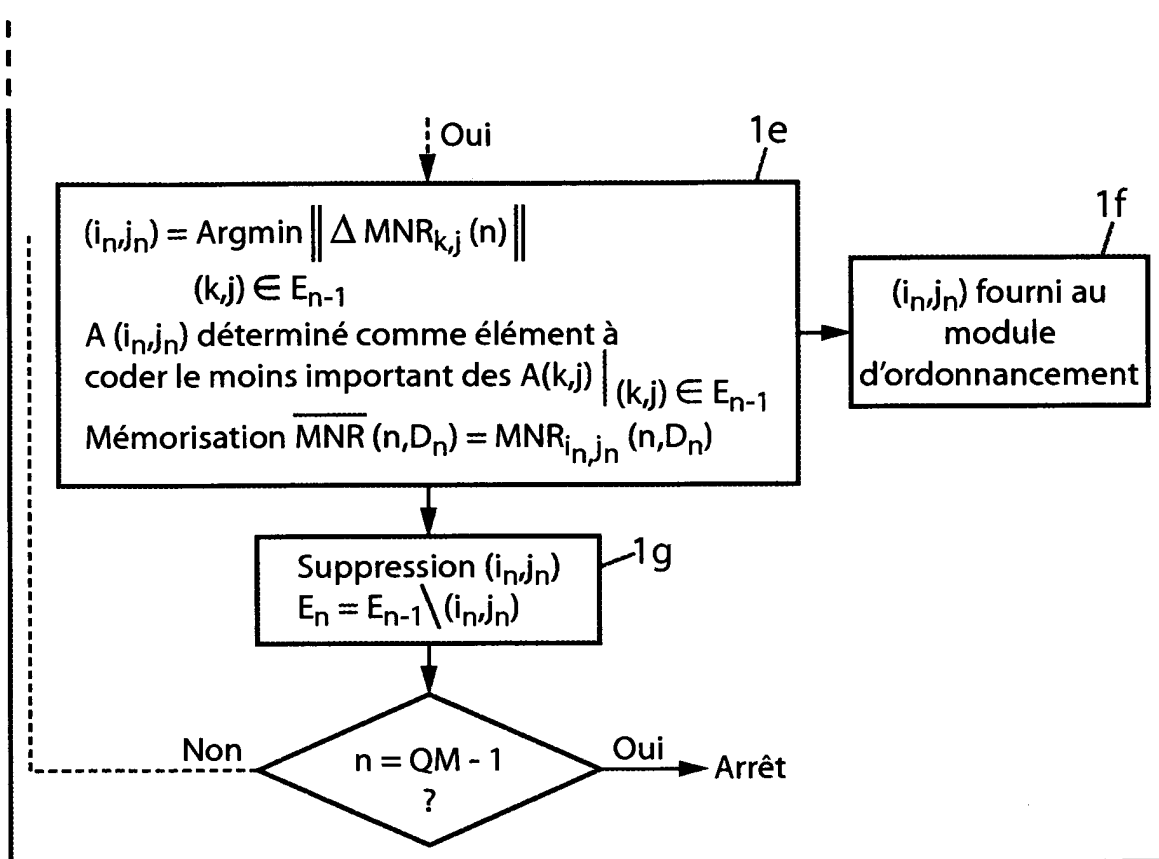


FIG. 4b

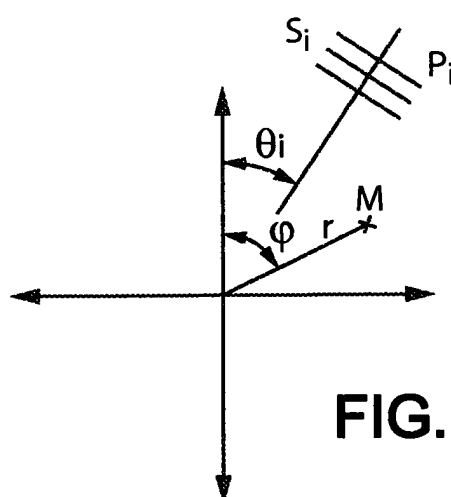


FIG. 3

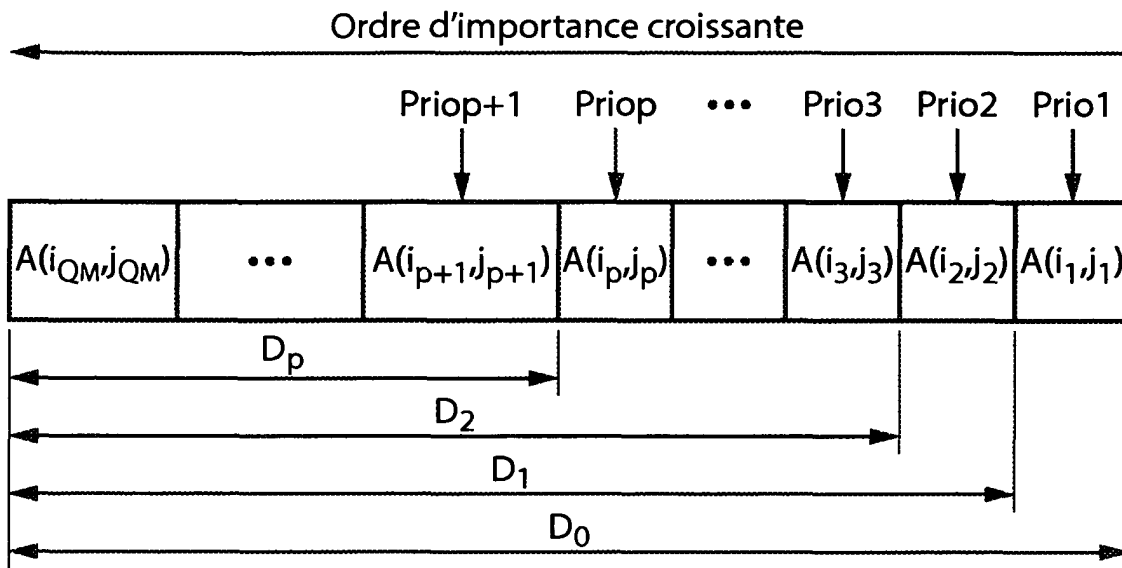


FIG. 5a

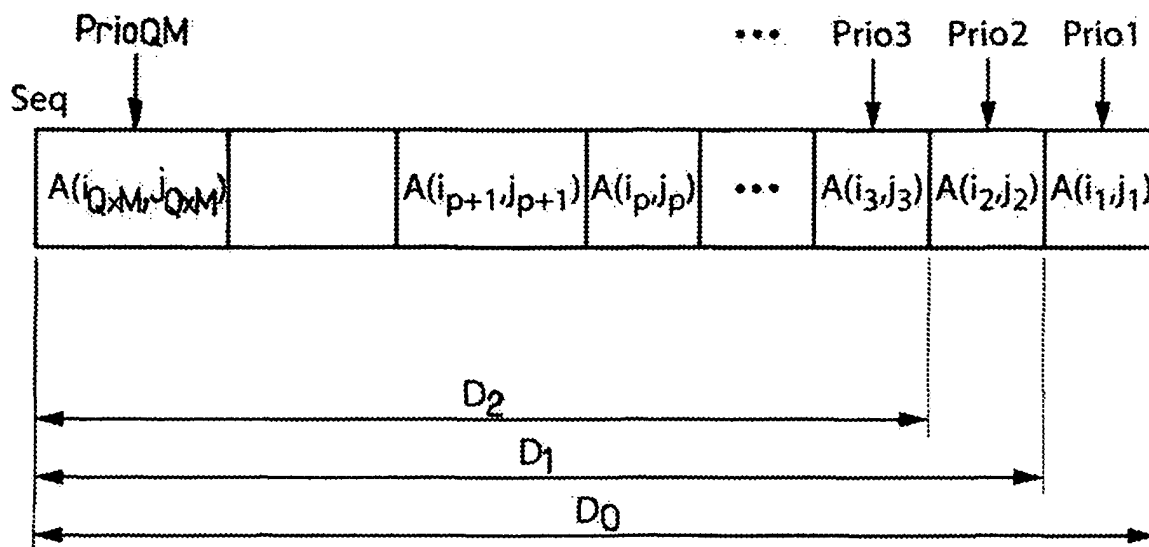
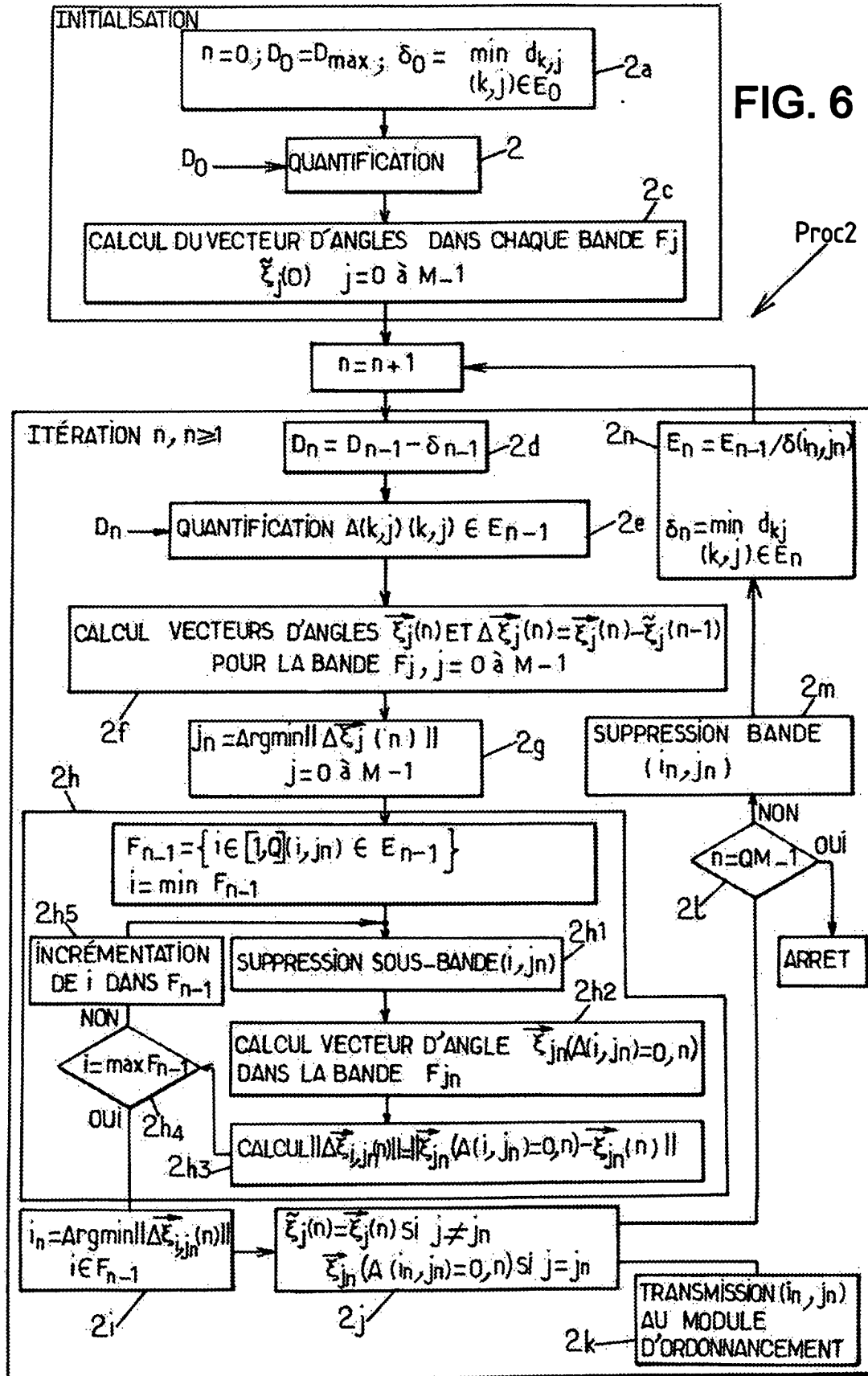
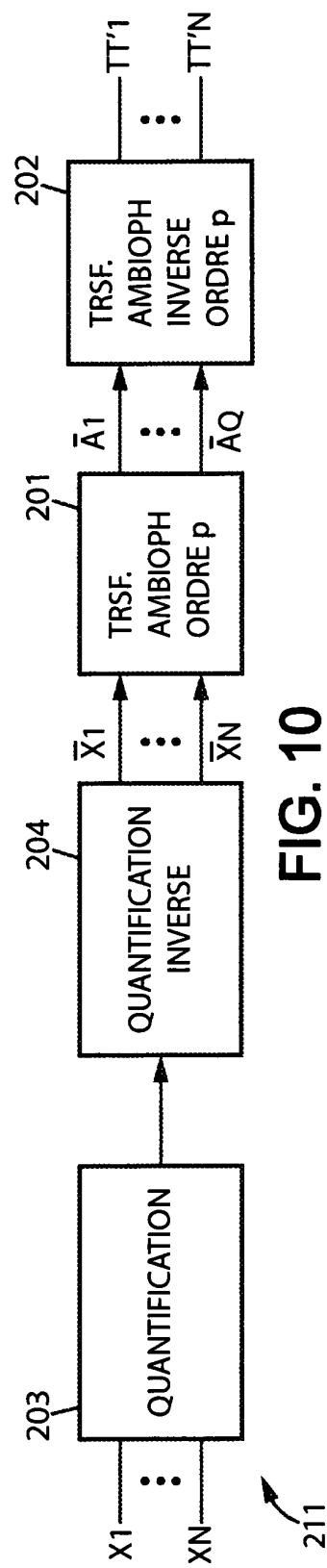
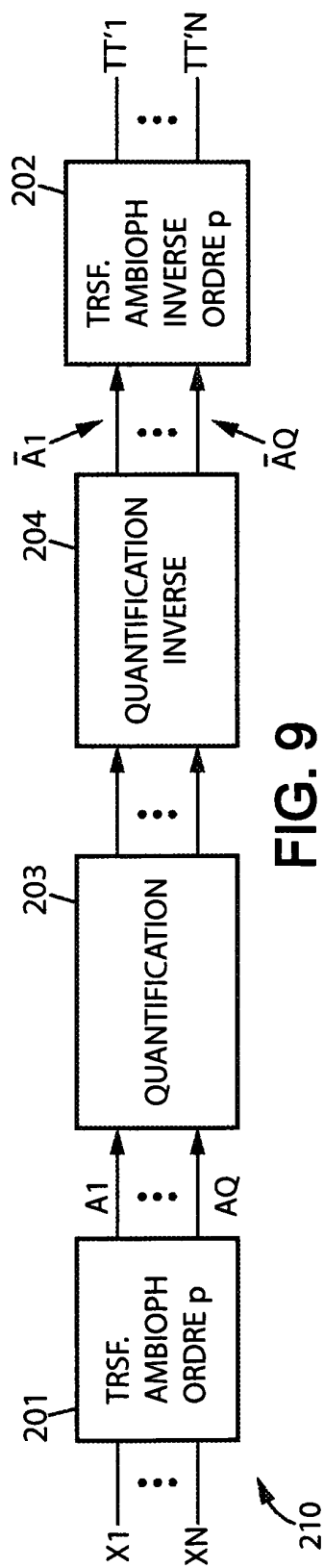
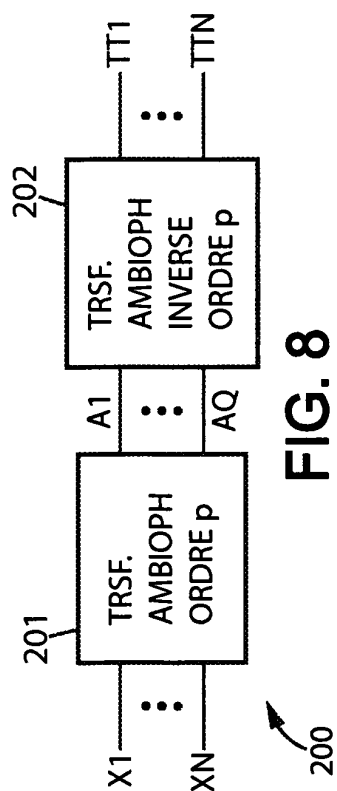


FIG. 5b





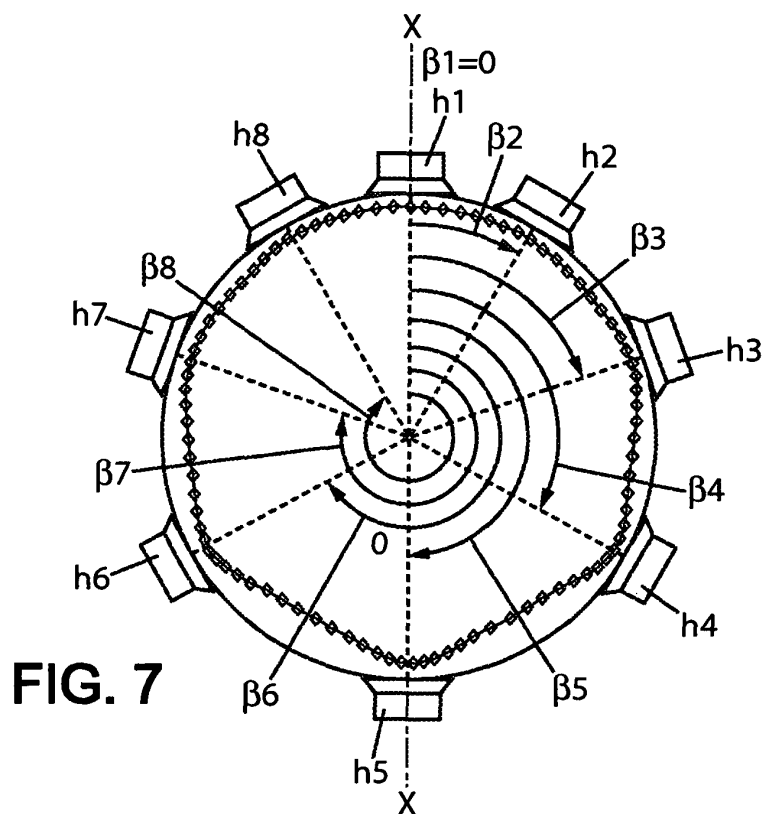


FIG. 7

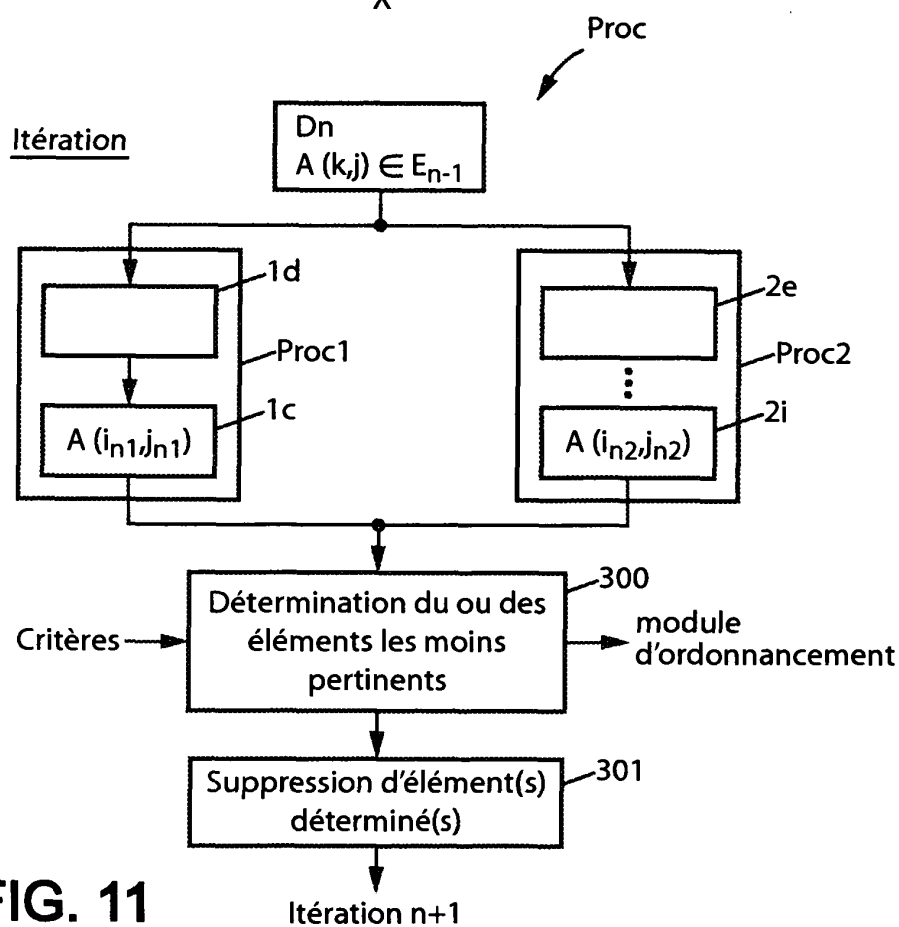


FIG. 11