



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 782 128 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**21.06.2000 Bulletin 2000/25**

(51) Int Cl.7: **G10L 19/06**

(21) Numéro de dépôt: **96402715.5**

(22) Date de dépôt: **12.12.1996**

(54) **Procédé d'analyse par prédiction linéaire d'un signal audiofréquence, et procédés de codage et de décodage d'un signal audiofréquence en comportant application**

Verfahren zur Analyse eines Audiofrequenzsignals durch lineare Prädiktion, und Anwendung auf ein Verfahren zur Kodierung und Dekodierung eines Audiofrequenzsignals

Method of analysing by linear prediction an audio frequency signal, and its application to a method of coding and decoding an audio frequency signal

(84) Etats contractants désignés:  
**DE GB IT**

(30) Priorité: **15.12.1995 FR 9514925**

(43) Date de publication de la demande:  
**02.07.1997 Bulletin 1997/27**

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

(72) Inventeurs:  
• **Quinquis, Catherine**  
**22300 Lannion (FR)**  
• **Le Guyader, Alain**  
**22300 Lannion (FR)**

(74) Mandataire: **Loisel, Bertrand et al**  
**Cabinet Plasseraud,**  
**84, rue d'Amsterdam**  
**75440 Paris Cédex 09 (FR)**

(56) Documents cités:  
**WO-A-83/02346** **FR-A- 2 284 946**  
**US-A- 5 142 581**

- **ICASSP-94. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING (CAT. NO.94CH3387-8), PROCEEDINGS OF ICASSP '94. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, ADELAIDE, SA, AUSTRALIA, 19-22 APRIL 1994 KWOK-WAH LAW ET AL: 'A novel split residual vector quantization scheme for low bit rate speech coding' ISBN 0-7803-1775-0, 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, USA, pages I/493 - 496 VOL.1, XP002013349**
- **SPEECH PROCESSING 1, TORONTO, MAY 14 - 17, 1991, vol. 1, 14 Mai 1991, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, pages 9-12, XP000245155 ORDENTLICH E ET AL: "LOW-DELAY CODE-EXCITED LINEAR-PREDICTIVE CODING OF WIDEBAND SPEECH AT 32 Kbps"**

**EP 0 782 128 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un procédé d'analyse par prédiction linéaire d'un signal audiofréquence. Ce procédé trouve une application particulière, mais non exclusive, dans des codeurs audio à prédiction, notamment dans des codeurs à analyse par synthèse, dont le type le plus répandu est le codeur CELP ("Code-Excited Linear Prediction").

**[0002]** Les techniques de codage prédictif à analyse par synthèse sont actuellement très répandues pour le codage de la parole en bande téléphonique (300-3400 Hz) à des débits pouvant descendre jusqu'à 8 kbit/s, tout en conservant une qualité téléphonique. Pour la bande audio (de l'ordre de 20 kHz), les techniques de codage par transformée sont utilisées pour des applications de diffusion et de stockage de signaux vocaux et musicaux. Cependant, ces techniques impliquent des retards de codage relativement importants (plus grands que 100 ms), ce qui produit en particulier des difficultés de participation dans les communications de groupe où l'interactivité est très importante. Les techniques prédictives produisent un retard plus faible, dépendant essentiellement de la longueur des trames d'analyse par prédiction linéaire (typiquement 10 à 20 ms), et trouvent pour cette raison des applications même pour le codage de signaux vocaux et/ou musicaux ayant une largeur de bande supérieure à la bande téléphonique.

**[0003]** Les codeurs prédictifs utilisés pour la compression de débit réalisent une modélisation de l'enveloppe spectrale du signal. Cette modélisation résulte d'une analyse par prédiction linéaire d'ordre M (M-10 typiquement en bande étroite), consistant à déterminer M coefficients  $a_i$  de prédiction linéaire du signal d'entrée. Ces coefficients caractérisent un filtre de synthèse utilisé au décodeur, dont la fonction de transfert est de la forme  $1/A(z)$  avec

$$A(z) = 1 + \sum_{i=1}^M a_i z^{-i} \quad (1)$$

**[0004]** L'analyse par prédiction linéaire a un domaine d'application général plus large que celui du codage de la parole. Dans certaines applications, l'ordre M de la prédiction constitue l'une des variables que l'analyse par prédiction linéaire vise à obtenir, cette variable étant influencée par le nombre de pics présents dans le spectre du signal analysé (voir US-A-5 142 581).

**[0005]** Le filtre calculé par l'analyse par prédiction linéaire peut avoir diverses structures, conduisant à différents choix de paramètres pour la représentation des coefficients (les coefficients  $a_i$  eux-mêmes, les paramètres LAR, LSF, LSP, les coefficients de réflexion ou PARCOR...). Avant l'avènement des processeurs de signal numérique (DSP), il était courant d'employer des structures récursives pour le filtre calculé, par exemple des structures faisant appel aux coefficients PARCOR du type décrit dans l'article de F. ITAKURA et S. SAITO "Digital Filtering Techniques for Speech Analysis and Synthesis", Proc. of the 7th International Congress on Acoustics, Budapest 1971, pages 261-264 (voir FR-A-2 284 946 ou US-A-3 975 587).

**[0006]** Dans les codeurs à analyse par synthèse, les coefficients  $a_i$  servent également à construire un filtre de pondération perceptuelle utilisé par le codeur pour déterminer le signal d'excitation à appliquer au filtre de synthèse à court terme pour obtenir un signal synthétique représentatif du signal de parole. Cette pondération perceptuelle accentue les portions du spectre où les erreurs de codage sont les plus perceptibles, c'est-à-dire les zones interformantiques. La fonction de transfert  $W(z)$  du filtre de pondération perceptuelle est habituellement de la forme

$$W(z) = \frac{A(z/\gamma_1)}{A(z/\gamma_2)} \quad (2)$$

où  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  sont deux coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$ . Une amélioration du masquage du bruit a été apportée par E. Ordentlich et Y. Shoham, dans leur article "Low-Delay Code-Excited Linear Predictive Coding of Wideband Speech at 32 kbps", Proc. ICASSP, Toronto, Mai 1991, pages 9-12. Cette amélioration consiste à combiner pour la pondération perceptuelle le filtre  $W(z)$  avec un autre filtre modélisant la pente du spectre. Cette amélioration est particulièrement appréciable dans le cas de codage de signaux à forte dynamique spectrale (bande élargie ou bande audio) pour lesquels les auteurs ont montré une importante amélioration de la qualité subjective du signal reconstruit.

**[0007]** Dans la plupart des décodeurs CELP actuels, les coefficients de prédiction linéaire  $a_i$  sont également utilisés pour définir un post-filtre servant à atténuer les zones fréquentielles entre les formants et les harmoniques du signal de parole, sans modifier la pente du spectre du signal. Une forme habituelle de la fonction de transfert de ce post-filtre est :

$$H_{PF}(z) = G_P \frac{A(z/\beta_1)}{A(z/\beta_2)} (1 - \mu r_1 z^{-1}) \quad (3)$$

5 où  $G_P$  est un facteur de gain compensant l'atténuation des filtres,  $\beta_1$  et  $\beta_2$  sont des coefficients tels que  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ ,  $\mu$  est une constante positive et  $r_1$  désigne le premier coefficient de réflexion dépendant des coefficients  $a_i$ .

**[0008]** La modélisation de l'enveloppe spectrale du signal par les coefficients  $a_i$  constitue donc un élément essentiel du processus de codage et de décodage, en ce sens qu'elle doit représenter le contenu spectral du signal à reconstituer au décodeur et qu'elle pilote aussi bien le masquage du bruit de quantification que le post-filtrage au décodeur.

10 **[0009]** Pour des signaux à forte dynamique spectrale, l'analyse par prédiction linéaire habituellement pratiquée ne parvient pas à modéliser fidèlement l'enveloppe du spectre. Souvent, les signaux de parole sont sensiblement plus énergétiques aux basses fréquences qu'aux fréquences élevées, de sorte que l'analyse par prédiction linéaire conduit certes à une modélisation précise aux basses fréquences, mais au détriment de la modélisation du spectre aux fréquences plus élevées. Cet inconvénient devient particulièrement gênant dans le cas du codage en bande élargie.

15 **[0010]** Le brevet US 5 142 581 décrit un filtre de prédiction linéaire à plusieurs étages, dans lequel l'ordre de prédiction utilisé dans chaque étage est un paramètre variable.

**[0011]** Un but de la présente invention est d'améliorer la modélisation du spectre d'un signal audiofréquence dans un système faisant appel à un procédé d'analyse par prédiction linéaire. Un autre but est de rendre les performances d'un tel système plus homogènes pour des signaux d'entrée différents (parole, musique, sinusoides, signaux DTMF...), des largeurs de bande différentes (bande téléphonique, bande élargie, bande hifi...), des conditions différentes d'enregistrement (microphone directif, antenne acoustique...) et de filtrage.

20 **[0012]** L'invention propose ainsi un procédé d'analyse par prédiction linéaire d'ordre  $M$  d'un signal audiofréquence, pour déterminer des paramètres spectraux dépendant d'un spectre à court terme du signal audiofréquence, divisé en  $q$  étages de prédiction successifs,  $q$  étant un entier supérieur à 1. A chaque étage de prédiction  $p$  (1 à  $q$ ), on détermine des paramètres représentant un nombre prédéfini  $M_p$  de coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le signal audiofréquence analysé constituant le signal d'entrée du premier étage, et le signal d'entrée d'un étage  $p+1$  étant constitué par le signal d'entrée de l'étage  $p$  filtré par un filtre de fonction de transfert

$$30 \quad A^D(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^D \cdot z^{-i} \quad (4)$$

35 l'ordre de prédiction  $M$  étant tel que

$$40 \quad M = \sum_{p=1}^q M_p .$$

**[0013]** Le nombre  $M_p$  de coefficients de prédiction linéaire peut notamment augmenter d'un étage au suivant. Ainsi, le premier étage pourra rendre compte assez fidèlement de la pente générale du spectre ou du signal, tandis que les étages suivants affineront la représentation des formants du signal. On évite ainsi, dans le cas de signaux à forte dynamique, de trop privilégier les zones les plus énergétiques au risque d'une modélisation médiocre des autres zones fréquentielles pouvant être perceptuellement importantes.

45 **[0014]** Un second aspect de l'invention concerne une application de ce procédé d'analyse par prédiction linéaire dans un codeur audiofréquence à analyse par synthèse à adaptation "forward". L'invention propose ainsi un procédé de codage d'un signal audiofréquence comprenant les étapes suivantes :

- analyse par prédiction linéaire d'un signal audiofréquence numérisé en trames successives pour déterminer des paramètres définissant un filtre de synthèse à court terme ;
- détermination de paramètres d'excitation définissant un signal d'excitation à appliquer au filtre de synthèse à court terme pour produire un signal synthétique représentatif du signal audiofréquence ; et
- production de valeurs de quantification des paramètres définissant le filtre de synthèse à court terme et des paramètres d'excitation,

dans lequel l'analyse par prédiction linéaire est un processus à q étages successifs tel que défini ci-dessus, et dans lequel le filtre de prédiction à court terme a une fonction de transfert de la forme 1/A(z) avec

5

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z) \quad (5)$$

10 **[0015]** La fonction de transfert A(z) ainsi obtenue peut également être utilisée pour définir selon la formule (2) la fonction de transfert du filtre de pondération perceptuelle lorsque le codeur est un codeur à analyse par synthèse avec détermination en boucle fermée du signal d'excitation. Une autre possibilité intéressante est d'adopter des coefficients d'expansion spectrale  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  pouvant varier d'un étage au suivant, c'est-à-dire de donner au filtre de pondération perceptuelle une fonction de transfert de la forme

15

$$W(z) = \prod_{p=1}^q [A^p(z/\gamma_1^p) / A^p(z/\gamma_2^p)] , \quad (6)$$

20

où  $\gamma_1^p, \gamma_2^p$  désignent des paires de coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2^p \leq \gamma_1^p \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q$ .

**[0016]** L'invention est également applicable au niveau d'un décodeur associé. Le procédé de décodage ainsi mis en oeuvre selon l'invention comprend les étapes suivantes :

25

- on reçoit des valeurs de quantification de paramètres définissant un filtre de synthèse à court terme et des paramètres d'excitation, les paramètres définissant le filtre de synthèse à court terme comprenant un nombre  $q > 1$  de jeux de coefficients de prédiction linéaire, chaque jeu comportant un nombre prédéfini de coefficients ;
- on produit un signal d'excitation sur la base des valeurs de quantification des paramètres d'excitation ;
- 30 - on produit un signal audiofréquence synthétique en filtrant le signal d'excitation par un filtre de synthèse ayant une fonction de transfert de la forme 1/A(z) avec

35

$$A(z) = \prod_{p=1}^q \left( 1 + \sum_{i=1}^{M^p} a_i^p \cdot z^{-i} \right) \quad (7)$$

40

où les coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M^p}^p$  correspondent au p-ième jeu de coefficients de prédiction linéaire pour  $1 \leq p \leq q$ .

**[0017]** Cette fonction de transfert A(z) peut également être utilisée pour définir un post-filtre dont la fonction de transfert comporte, comme dans la formule (3) ci-dessus, un terme de la forme  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$ , où  $\beta_1$  et  $\beta_2$  désignent des coefficients tels que  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ .

45

**[0018]** Une variante intéressante consiste à remplacer ce terme de la fonction de transfert du post-filtre par :

50

$$\prod_{p=1}^q [A^p(z/\beta_1^p) / A^p(z/\beta_2^p)] , \quad (8)$$

où  $\beta_1^p, \beta_2^p$  désignent des paires de coefficients tels que  $0 \leq \beta_1^p \leq \beta_2^p \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q$ .

**[0019]** L'invention s'applique également à des codeurs audiofréquence à adaptation "backward". L'invention propose ainsi un procédé de codage d'un premier signal audiofréquence numérisé en trames successives, comprenant les étapes suivantes :

55

- analyse par prédiction linéaire d'un second signal audiofréquence pour déterminer des paramètres définissant un

## EP 0 782 128 B1

filtre de synthèse à court terme ;

- détermination de paramètres d'excitation définissant un signal d'excitation à appliquer au filtre de synthèse à court terme pour produire un signal synthétique représentatif du premier signal audiofréquence, ce signal synthétique constituant ledit second signal audiofréquence pour au moins une trame suivante ; et
- production de valeurs de quantification des paramètres d'excitation,

dans lequel l'analyse par prédiction linéaire est un processus à  $q$  étages successifs tel que défini ci-dessus, et dans lequel le filtre de prédiction à court terme a une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)$  avec

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z)$$

**[0020]** Pour une mise en oeuvre dans un décodeur associé, l'invention propose un procédé de décodage d'un flux binaire pour construire en trames successives un signal audiofréquence codé par ledit flux binaire, comprenant les étapes suivantes :

- on reçoit des valeurs de quantification de paramètres d'excitation ;
- on produit un signal d'excitation sur la base des valeurs de quantification des paramètres d'excitation ;
- on produit un signal audiofréquence synthétique en filtrant le signal d'excitation par un filtre de synthèse à court terme ;
- on effectue une analyse par prédiction linéaire du signal synthétique pour obtenir des coefficients du filtre de synthèse à court terme pour au moins une trame suivante,

dans lequel l'analyse par prédiction linéaire est un processus à  $q$  étages successifs tel que défini ci-dessus, et dans lequel le filtre de prédiction à court terme a une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)$  avec

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z)$$

**[0021]** L'invention permet encore de réaliser des codeurs/décodeurs audiofréquence mixtes, c'est-à-dire faisant appel à la fois à des schémas d'adaptation "forward" et "backward", le ou les premiers étages de prédiction linéaire correspondant à une analyse "forward" et le ou les derniers étages à une analyse "backward". L'invention propose ainsi un procédé de codage d'un premier signal audiofréquence numérisé en trames successives, comprenant les étapes suivantes :

- analyse par prédiction linéaire du premier signal audiofréquence pour déterminer des paramètres définissant une première composante d'un filtre de synthèse à court terme ;
- détermination de paramètres d'excitation définissant un signal d'excitation à appliquer au filtre de synthèse à court terme pour produire un signal synthétique représentatif du premier signal audio-fréquence ;
- production de valeurs de quantification des paramètres définissant la première composante du filtre de synthèse à court terme et des paramètres d'excitation ;
- filtrage du signal synthétique par un filtre de fonction de transfert correspondant à l'inverse de la fonction de transfert de la première composante du filtre de synthèse à court terme ; et
- analyse par prédiction linéaire du signal synthétique filtré pour obtenir des coefficients d'une seconde composante du filtre de synthèse à court terme pour au moins une trame suivante,

dans lequel l'analyse par prédiction linéaire du premier signal audiofréquence est un processus à  $q_F$  étages successifs,  $q_F$  étant un entier au moins égal à 1, ledit processus à  $q_F$  étages comportant, à chaque étage de prédiction  $p$  ( $1 \leq p \leq q_F$ ), la détermination de paramètres représentant un nombre prédéfini  $MF_p$  de coefficients  $a_1^{F,p}, \dots, a_{MF_p}^{F,p}$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le premier signal audiofréquence constituant le signal d'entrée du premier étage, et le signal d'entrée d'un étage  $p+1$  étant constitué par le signal d'entrée de l'étage  $p$  filtré par un filtre de fonction de transfert

$$A^{F,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MFp} a_i^{F,p} \cdot z^{-i},$$

5

la première composante du filtre de synthèse à court terme ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A^F(z)$  avec

10

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z),$$

15

et dans lequel l'analyse par prédiction linéaire du signal synthétique filtré est un processus à  $q_B$  étages successifs,  $q_B$  étant un entier au moins égal à 1, ledit processus à  $q_B$  étages comportant, à chaque étage de prédiction  $p$  ( $1 \leq p \leq q_B$ ), la détermination de paramètres représentant un nombre prédéfini  $MBp$  de coefficients  $a_1^{B,p}, \dots, a_{MBp}^{B,p}$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le signal synthétique filtré constituant le signal d'entrée du premier étage, et le signal d'entrée d'un étage  $p+1$  étant constitué par le signal d'entrée de l'étage  $p$  filtré par un filtre de fonction de transfert

20

$$A^{B,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MBp} a_i^{B,p} \cdot z^{-i},$$

25

la seconde composante du filtre de synthèse à court terme ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A^B(z)$  avec

30

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,p}(z),$$

35

et le filtre de synthèse à court terme ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)$  avec  $A(z) = A^F(z) \cdot A^B(z)$ .

**[0022]** Pour une mise en oeuvre dans un décodeur mixte associé, l'invention propose un procédé de décodage d'un flux binaire pour construire en trames successives un signal audiofréquence codé par ledit flux binaire, comprenant les étapes suivantes :

40

- on reçoit des valeurs de quantification de paramètres définissant une première composante d'un filtre de synthèse à court terme et de paramètres d'excitation, les paramètres définissant la première composante du filtre de synthèse à court terme représentant un nombre  $q_F$  au moins égal à 1 de jeux de coefficients de prédiction linéaire  $a_1^{F,p}, \dots, a_{MFp}^{F,p}$  pour  $1 \leq p \leq q_F$ , chaque jeu  $p$  comportant un nombre prédéfini  $MFp$  de coefficients, la première composante du filtre de synthèse à court terme ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A^F(z)$  avec

45

50

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z) = \prod_{p=1}^{q_F} \left( 1 + \sum_{i=1}^{MFp} a_i^{F,p} \cdot z^{-i} \right);$$

55

- on produit un signal d'excitation sur la base des valeurs de quantification des paramètres d'excitation ;
- on produit un signal audiofréquence synthétique en filtrant le signal d'excitation par un filtre de synthèse à court terme de fonction de transfert  $1/A(z)$  avec  $A(z) = A^F(z) \cdot A^B(z)$ ,  $1/A^B(z)$  représentant la fonction de transfert d'une

seconde composante du filtre de synthèse à court terme ;

- on filtre le signal synthétique par un filtre de fonction de transfert  $A^F(z)$  ; et
- on effectue une analyse par prédiction linéaire du signal synthétique filtré pour obtenir des coefficients de la seconde composante du filtre de synthèse à court terme pour au moins une trame suivante,

5 dans lequel l'analyse par prédiction linéaire du signal synthétique filtré est un processus à  $q_B$  étages tel que défini ci-dessus, et dans lequel le filtre de synthèse à court terme a une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)=1/[A^F(z).A^B(z)]$  avec

10

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,P}(z)$$

15

**[0023]** Bien qu'on accorde une importance particulière aux applications de l'invention dans le domaine du codage/décodage à analyse par synthèse, il convient d'observer que le procédé d'analyse par prédiction linéaire à étages multiples proposé selon l'invention comporte de nombreuses autres applications dans le traitement de signaux audio, par exemple dans les codeurs prédictifs par transformée, dans des systèmes de reconnaissance de parole, dans des systèmes d'accentuation de parole (speech enhancement) ...

20

**[0024]** D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description ci-après d'exemples de réalisations préférés mais non limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

25

- la figure 1 est un organigramme d'un procédé d'analyse par prédiction linéaire selon l'invention ;
- la figure 2 est un diagramme spectral comparant les résultats d'un procédé selon l'invention avec ceux d'un procédé conventionnel d'analyse par prédiction linéaire ;
- les figures 3 et 4 sont des schémas synoptiques d'un décodeur et d'un codeur CELP pouvant mettre en oeuvre l'invention ;
- 30 - les figures 5 et 6 sont des schémas synoptiques de variantes de décodeur et de codeur CELP pouvant mettre en oeuvre l'invention ; et
- les figures 7 et 8 sont des schémas synoptiques d'autres variantes de décodeur et de codeur CELP pouvant mettre en oeuvre d'invention.

35

**[0025]** Le signal audiofréquence à analyser dans le procédé illustré par la figure 1 est noté  $s^0(n)$ . Il est supposé disponible sous forme d'échantillons numériques, l'entier  $n$  désignant les instants d'échantillonnage successifs. Le procédé d'analyse par prédiction linéaire comprend  $q$  étages successifs  $5_1, \dots, 5_p, \dots, 5_q$ . A chaque étage de prédiction  $5_p$  ( $1 \leq p \leq q$ ), on effectue une prédiction linéaire d'ordre  $M_p$  d'un signal d'entrée  $s^{p-1}(n)$ . Le signal d'entrée du premier étage  $5_1$  est constitué par le signal audiofréquence à analyser  $s^0(n)$ , tandis que le signal d'entrée d'un étage  $5_{p+1}$  ( $1 \leq p < q$ ) est constitué par le signal  $s^p(n)$ , obtenu à une étape notée  $6_p$  en appliquant au signal d'entrée  $s^{p-1}(n)$  du  $p$ -ième étage  $5_p$  un filtrage au moyen d'un filtre de fonction de transfert

40

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i} \tag{4}$$

45

où les coefficients  $a_i^p$  ( $1 \leq i \leq M_p$ ) sont les coefficients de prédiction linéaire obtenus à l'étage  $5_p$ .

50

**[0026]** Les méthodes d'analyse par prédiction linéaire pouvant être mises en oeuvre dans les différents étages  $5_1, \dots, 5_q$  sont bien connues dans la technique.

**[0027]** On pourra par exemple se reporter aux ouvrages "Digital Processing of Speech Signals" de L.R. Rabiner et R.W. Shafer, Prentice-Hall Int., 1978 et "Linear Prediction of Speech" de J.D. Markel et A.H. Gray, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1976. On peut notamment utiliser l'algorithme de Levinson-Durbin, qui comporte les étapes suivantes (pour chaque étage  $5_p$ ) :

55

- évaluation de  $M_p$  autocorrélations  $R(i)$  ( $0 \leq i \leq M_p$ ) du signal d'entrée  $s^{p-1}(n)$  de l'étage sur une fenêtre d'analyse de  $Q$  échantillons :

$$R(i) = \sum_{n=i}^{Q-1} s^*(n) \cdot s^*(n-i)$$

5  
 avec  $s^*(n)=s^{p-1}(n).f(n)$ ,  $f(n)$  désignant une fonction de fenêtrage de longueur  $Q$ , par exemple une fonction rectangulaire ou une fonction de Hamming ;  
 - évaluation récursive des coefficients  $a_i^p$  :

$$E(0) = R(0)$$

15 Pour  $i$  allant de 1 à  $M_p$ , faire

$$r_i^p = \left[ R(i) + \sum_{j=1}^{i-1} a_j^{p,i-1} \cdot R(i-j) \right] / E(i-1)$$

$$a_i^{p,i} = -r_i^p$$

$$E(i) = [1-(r_i^p)^2] \cdot E(i-1)$$

30 **[0028]** Pour  $j$  allant de 1 à  $i-1$ , faire

$$a_j^{p,i} = a_j^{p,i-1} - r_i^p \cdot a_{i-j}^{p,i-1}$$

35 **[0029]** Les coefficients  $a_i^p$  ( $i=1, \dots, M_p$ ) sont pris égaux aux  $a_i^{p,M_p}$  obtenus à la dernière itération. La quantité  $E(M_p)$  est l'énergie de l'erreur résiduelle de prédiction de l'étage  $p$ . Les coefficients  $r_i^p$ , compris entre -1 et 1, sont appelés coefficients de réflexion. Ils peuvent être représentés par les rapports logarithmiques (log-area-ratios)  $LAR_i^p = LAR(r_i^p)$ , la fonction  $LAR$  étant définie par  $LAR(r) = \log_{10}[(1-r)/(1+r)]$ .

40 **[0030]** Dans un certain nombre d'applications, on a besoin d'opérer une quantification des coefficients de prédiction obtenus. La quantification peut être effectuée sur les coefficients  $a_i^p$  directement, sur les coefficients de réflexion associés  $r_i^p$  ou sur les rapports logarithmiques  $LAR_i^p$ . Une autre possibilité est de quantifier des paramètres de raie spectrale (LSP pour "line spectrum pairs", ou LSF pour "line spectrum frequencies"). Les  $M_p$  fréquences de raie spectrale  $\omega_i^p$  ( $1 \leq i \leq M_p$ ), normalisées entre 0 et  $\pi$ , sont telles que les nombres complexes  $1, \exp(j\omega_2^p), \exp(j\omega_4^p), \dots, \exp(j\omega_{M_p}^p)$ , soient les racines du polynôme  $P^p(z) = A^p(z) - z^{(M_p+1)} A^p(z^{-1})$  et que les nombres complexes  $\exp(j\omega_1^p), \exp(j\omega_3^p), \dots, \exp(j\omega_{M_p-1}^p)$ , et -1 soient les racines du polynôme  $Q^p(z) = A^p(z) + z^{(M_p+1)} A^p(z^{-1})$ . La quantification peut porter sur les fréquences normalisées  $\omega_i^p$  ou sur leurs cosinus.

45 **[0031]** L'analyse peut être effectuée à chaque étage de prédiction  $5_p$  selon l'algorithme classique de Levinson-Durbin ci-dessus rappelé. D'autres algorithmes fournissant les mêmes résultats, développés plus récemment, peuvent être utilisés avantageusement, notamment l'algorithme de Levinson éclaté (voir "A new Efficient Algorithm to Compute the LSP Parameters for Speech Coding", par S. Saoudi, J.M. Boucher et A. Le Guyader, Signal Processing, Vol.28, 1992, pages 201-212), ou l'utilisation des polynômes de Chebyshev (voir "The Computation of Line Spectrum Frequencies Using Chebyshev Polynomials", par P. Kabal et R.P. Ramachandran, IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-34, n°6, pages 1419-1426, décembre 1986).

50 **[0032]** Lorsque l'analyse multi-étages représentée sur la figure 1 est réalisée pour définir un filtre de prédiction à court terme du signal audiofréquence  $s^0(n)$ , on donne à la fonction de transfert  $A(z)$  de ce filtre, la forme

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z) \quad (5)$$

5

**[0033]** On note que cette fonction de transfert obéit à la forme générale classique donnée par la formule (1), avec  $M=M_1+\dots+M_q$ . Toutefois, les coefficients  $a_i$  de la fonction  $A(z)$  obtenus avec le processus de prédiction multi-étages diffèrent en général de ceux que procure le processus classique de prédiction en un seul étage.

10 **[0034]** Les ordres  $M_p$  des prédictions linéaires effectuées augmentent de préférence d'un étage au suivant :  $M_1 < M_2 < \dots < M_q$ . Ainsi, l'allure de l'enveloppe spectrale du signal analysé est modélisée relativement grossièrement au premier étage  $5_1$  ( $M_1=2$  par exemple), et cette modélisation s'affine d'étage en étage sans perdre l'information globale fournie par le premier étage. On évite ainsi que soient insuffisamment pris en compte des paramètres comme la pente générale du spectre qui sont perceptuellement importants, particulièrement dans le cas de signaux en bande élargie et/ou à forte dynamique spectrale.

15 **[0035]** Dans une réalisation typique, le nombre  $q$  d'étages de prédiction successifs est égal à 2. Si on a pour objectif un filtre de synthèse d'ordre  $M$ , on peut alors prendre  $M_1=2$  et  $M_2=M-2$ , les coefficients  $a_i$  du filtre (équation (1)) étant donnés par :

$$20 \quad \cdot a_1 = a_1^1 + a_1^2 \quad (9)$$

$$25 \quad \cdot a_2 = a_2^1 + a_1^1 a_1^2 + a_2^2 \quad (10)$$

$$25 \quad \cdot a_k = a_2^1 a_{k-2}^2 + a_1^1 a_{k-1}^2 + a_k^2 \text{ pour } 2 < k \leq M-2 \quad (11)$$

$$30 \quad \cdot a_{M-1} = a_2^1 a_{M-3}^2 + a_1^1 a_{M-2}^2 \quad (12)$$

$$30 \quad \cdot a_M = a_2^1 a_{M-2}^2 \quad (13)$$

35 **[0036]** Pour la représentation et éventuellement la quantification du spectre à court terme, il est possible d'adopter l'un des jeux de paramètres spectraux précédemment évoqués ( $a_i^p, r_i^p, LAR_i^p, \omega_i^p$  ou  $\cos \omega_i^p$  pour  $1 \leq i \leq M_p$ ) pour chacun des étages ( $1 \leq p \leq q$ ), ou encore les mêmes paramètres spectraux mais pour le filtre composé calculé selon les relations (9) à (13) ( $a_i, r_i, LAR_i, \omega_i$  ou  $\cos \omega_i$  pour  $1 \leq i \leq M$ ). Le choix entre ces paramètres de représentation, ou d'autres encore, dépend des contraintes de chaque application particulière.

40 **[0037]** Le graphique de la figure 2 montre une comparaison des enveloppes spectrales d'une portion voisée de 30 ms d'un signal de parole, modélisées par un processus classique de prédiction linéaire à un étage avec  $M=15$  (courbe II) et par un processus selon l'invention de prédiction linéaire en  $q=2$  étages avec  $M_1=2$  et  $M_2=13$  (courbe III). La fréquence d'échantillonnage  $F_e$  du signal était de 16 kHz. Le spectre du signal (module de sa transformée de Fourier) est représenté par la courbe I. Ce spectre est représentatif des signaux audiofréquence qui ont, en moyenne, plus d'énergie aux basses fréquences qu'aux hautes fréquences. La dynamique spectrale est parfois supérieure à celle de la figure 2 (60 dB). Les courbes (II) et (III) correspondent aux enveloppes spectrales modélisées  $|1/A(e^{2j\pi f/F_e})|$ . On voit que le procédé d'analyse selon l'invention améliore sensiblement la modélisation du spectre, particulièrement aux hautes fréquences ( $f > 4$  kHz). La pente générale du spectre et ses formants en haute fréquence sont mieux respectés par le processus d'analyse en plusieurs étages.

50 **[0038]** L'invention est décrite ci-après dans son application à un codeur de parole de type CELP.

55 **[0039]** Le processus de synthèse de parole mis en oeuvre dans un codeur et un décodeur CELP est illustré sur la figure 3. Un générateur d'excitation 10 délivre un code d'excitation  $c_k$  appartenant à un répertoire prédéterminé en réponse à un index  $k$ . Un amplificateur 12 multiplie ce code d'excitation par un gain d'excitation  $\beta$ , et le signal résultant est soumis à un filtre 14 de synthèse à long terme. Le signal de sortie  $u$  du filtre 14 est à son tour soumis à un filtre 16 de synthèse à court terme, dont la sortie  $s$  constitue ce qu'on considère ici comme le signal de parole synthétique. Ce signal synthétique est appliqué à un post-filtre 17 destiné à améliorer la qualité subjective de la parole reconstruite. Les techniques de post-filtrage sont bien connues dans le domaine du codage de parole (voir J.H. Chen et A. Gersho :

"Adaptive postfiltering for quality enhancement of coded speech", IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, Vol. 3-1, pages 59-71, janvier 1995). Dans l'exemple représenté, les coefficients du post-filtre 17 sont obtenus à partir des paramètres LPC caractérisant le filtre de synthèse à court terme 16. On comprendra que, comme dans certains décodeurs CELP actuels, le post-filtre 17 pourrait également comporter une composante de post-filtrage à long terme.

**[0040]** Les signaux précités sont des signaux numériques représentés par exemple par des mots de 16 bits à une cadence d'échantillonnage  $F_e$  égale par exemple à 16 kHz pour un codeur en bande élargie (50-7000 Hz). Les filtres de synthèse 14, 16 sont en général des filtres purement récurrents. Le filtre 14 de synthèse à long terme a typiquement une fonction de transfert de la forme  $1/B(z)$  avec  $B(z)=1-Gz^{-T}$ . Le retard  $T$  et le gain  $G$  constituent des paramètres de prédiction à long terme (LTP) qui sont déterminés d'une manière adaptative par le codeur. Les paramètres LPC définissant le filtre 16 de synthèse à court terme sont déterminés au codeur par un procédé d'analyse par prédiction linéaire du signal de parole. Dans les codeurs et décodeurs CELP habituels, la fonction de transfert du filtre 16 est généralement de la forme  $1/A(z)$  avec  $A(z)$  de la forme (1). La présente invention propose d'adopter une forme semblable de la fonction de transfert, dans laquelle  $A(z)$  est décomposée selon (7) comme indiqué précédemment. A titre d'exemple, les paramètres des différents étages peuvent être  $q=2$ ,  $M_1=2$ ,  $M_2=13$  ( $M=M_1+M_2=15$ ).

**[0041]** On désigne ici par "signal d'excitation" le signal  $u(n)$  appliqué au filtre de synthèse à court terme 14. Ce signal d'excitation comporte une composante LTP  $G.u(n-T)$  et une composante résiduelle, ou séquence d'innovation,  $\beta c_k(n)$ . Dans un codeur à analyse par synthèse, les paramètres caractérisant la composante résiduelle et, optionnellement, la composante LTP sont évalués en boucle fermée, en utilisant un filtre de pondération perceptuelle.

**[0042]** La figure 4 montre le schéma d'un codeur CELP. Le signal de parole  $s(n)$  est un signal numérique, par exemple fourni par un convertisseur analogique-numérique 20 traitant le signal de sortie amplifié et filtré d'un microphone 22. Le signal  $s(n)$  est numérisé en trames successives de  $\Lambda$  échantillons elles-mêmes divisées en sous-trames, ou trames d'excitation, de  $L$  échantillons (par exemple  $\Lambda=160$ ,  $L=32$ ).

**[0043]** Les paramètres LPC, LTP et EXC (index  $k$  et gain d'excitation  $\beta$ ) sont obtenus au niveau du codeur par trois modules d'analyse respectifs 24, 26, 28. Ces paramètres sont ensuite quantifiés de façon connue en vue d'une transmission numérique efficace, puis soumis à un multiplexeur 30 qui forme le signal de sortie du codeur. Ces paramètres sont également fournis à un module 32 de calcul d'états initiaux de certains filtres du codeur. Ce module 32 comprend essentiellement une chaîne de décodage telle que celle représentée sur la figure 3. Comme le décodeur, le module 32 opère sur la base des paramètres LPC, LTP et EXC quantifiés. Si une interpolation des paramètres LPC est effectuée au décodeur, comme il est courant, la même interpolation est effectuée par le module 32. Le module 32 permet de connaître au niveau du codeur les états antérieurs des filtres de synthèse 14, 16 du décodeur, déterminés en fonction des paramètres de synthèse et d'excitation antérieurs à la sous-trame considérée.

**[0044]** Dans une première étape du processus de codage, le module 24 d'analyse à court terme détermine les paramètres LPC définissant le filtre de synthèse à court terme, en analysant les corrélations à court terme du signal de parole  $s(n)$ . Cette détermination est effectuée par exemple une fois par trame de  $\Lambda$  échantillons, de manière à s'adapter à l'évolution du contenu spectral du signal de parole. Elle consiste selon l'invention à mettre en oeuvre le procédé d'analyse illustré par la figure 1 avec  $s^0(n)=s(n)$ .

**[0045]** L'étape suivante du codage consiste en la détermination des paramètres LTP de prédiction à long terme. Ceux-ci sont par exemple déterminés une fois par sous-trame de  $L$  échantillons. Un soustracteur 34 soustrait du signal de parole  $s(n)$  la réponse à un signal d'entrée nul du filtre de synthèse à court terme 16. Cette réponse est déterminée par un filtre 36 de fonction de transfert  $1/A(z)$  dont les coefficients sont donnés par les paramètres LPC qui ont été déterminés par le module 24, et dont les états initiaux  $s$  sont fournis par le module 32 de façon à correspondre aux  $M=M_1+...+M_q$  derniers échantillons du signal synthétique. Le signal de sortie du soustracteur 34 est soumis à un filtre 38 de pondération perceptuelle dont le rôle est d'accentuer les portions du spectre où les erreurs sont les plus perceptibles, c'est-à-dire les zones inter-formantiques.

**[0046]** La fonction de transfert  $W(z)$  du filtre de pondération perceptuelle 38 est de la forme  $W(z)=AN(z)/AP(z)$  où  $AN(z)$  et  $AP(z)$  sont des fonctions de transfert d'ordre  $M$  de type RIF (réponse impulsionnelle finie). Les coefficients respectifs  $b_i$  et  $c_i$  ( $1 \leq i \leq M$ ) des fonctions  $AN(z)$  et  $AP(z)$  sont calculés pour chaque trame par un module 39 d'évaluation de la pondération perceptuelle qui les fournit au filtre 38. Une première possibilité est de prendre  $AN(z)=A(z/\gamma_1)$  et  $AP(z)=A(z/\gamma_2)$  avec  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$ , ce qui revient à la forme habituelle (2) avec  $A(z)$  de la forme (7). Dans le cas d'un signal en bande élargie avec  $q=2$ ,  $M_1=2$  et  $M_2=13$ , on a trouvé que le choix  $\gamma_1=0,92$  et  $\gamma_2=0,6$  fournissait de bons résultats.

**[0047]** L'invention permet toutefois, avec une surcharge de calculs très faible, d'avoir une plus grande souplesse quant à la mise en forme du bruit de quantification, en adoptant la forme (6) pour  $W(z)$ , soit :

$$AN(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z/\gamma_1^p)$$

$$AP(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z/\gamma_2^p)$$

5

**[0048]** Dans le cas d'un signal en bande élargie avec  $q=2$ ,  $M1=2$  et  $M2=13$ , on a trouvé que le choix  $\gamma_1^1=0,9$ ,  $\gamma_2^1=0,65$ ,  $\gamma_1^2=0,95$  et  $\gamma_2^2=0,75$  fournissait de bons résultats. Le terme  $A^1(z/\gamma_1^1)/A^1(z/\gamma_2^1)$  permet de régler la pente générale du filtre 38, tandis que le terme  $A^2(z/\gamma_1^2)/A^2(z/\gamma_2^2)$  permet de régler le masquage au niveau des formants.

10 **[0049]** L'analyse LTP en boucle fermée effectuée par le module 26 consiste, de façon classique, à sélectionner pour chaque sous-trame le retard T qui maximise la corrélation normalisée:

$$15 \quad \left[ \sum_{n=0}^{L-1} x'(n) \cdot y_T(n) \right]^2 / \left[ \sum_{n=0}^{L-1} [y_T(n)]^2 \right]$$

20 où  $x'(n)$  désigne le signal de sortie du filtre 38 pendant la sous-trame considérée, et  $y_T(n)$  désigne le produit de convolution  $u(n-T)*h'(n)$ . Dans l'expression ci-dessus,  $h'(0), h'(1), \dots, h'(L-1)$  désigne la réponse impulsionnelle du filtre de synthèse pondéré, de fonction de transfert  $W(z)/A(z)$ . Cette réponse impulsionnelle  $h'$  est obtenue par un module 40 de calcul de réponses impulsionnelles, en fonction des coefficients  $b_i$  et  $c_i$  fournis par le module 39 et des paramètres LPC qui ont été déterminés pour la sous-trame, le cas échéant après quantification et interpolation. Les échantillons  $u(n-T)$  sont les états antérieurs du filtre 14 de synthèse à long terme, fournis par le module 32. Pour les retards T inférieurs à la longueur d'une sous-trame, les échantillons manquants  $u(n-T)$  sont obtenus par interpolation sur la base des échantillons antérieurs, ou à partir du signal de parole. Les retards T, entiers ou fractionnaires, sont sélectionnés dans une fenêtre déterminée. Pour réduire la plage de recherche en boucle fermée, et donc pour réduire le nombre de convolutions  $y_T(n)$  à calculer, on peut d'abord déterminer un retard T' en boucle ouverte par exemple une fois par trame, puis sélectionner les retards en boucle fermée pour chaque sous-trame dans un intervalle réduit autour de T'.

25 La recherche en boucle ouverte consiste plus simplement à déterminer le retard T' qui maximise l'autocorrélation du signal de parole  $s(n)$  éventuellement filtré par le filtre inverse de fonction de transfert  $A(z)$ . Une fois que le retard T a été déterminé, le gain G de prédiction à long terme est obtenu par :

$$35 \quad G = \left[ \sum_{n=0}^{L-1} x'(n) \cdot y_T(n) \right] / \left[ \sum_{n=0}^{L-1} [y_T(n)]^2 \right]$$

40 **[0050]** Pour rechercher l'excitation CELP relative à une sous-trame, le signal  $Gy_T(n)$ , qui a été calculé par le module 26 pour le retard optimal T, est d'abord soustrait du signal  $x'(n)$  par le soustracteur 42. Le signal résultant  $x(n)$  est soumis à un filtre à rebours 44 qui fournit un signal  $D(n)$  donné par :

45

$$D(n) = \sum_{i=n}^{L-1} x(i) \cdot h(i-n)$$

50

où  $h(0), h(1), \dots, h(L-1)$  désigne la réponse impulsionnelle du filtre composé des filtres de synthèse et du filtre de pondération perceptuelle, calculée par le module 40. En d'autres termes, le filtre composé a pour fonction de transfert  $W(z)/[A(z).B(z)]$ . En notation matricielle, on a donc :

55

$$D = (D(0), D(1), \dots, D(L-1)) = x.H$$

avec

$$x = (x(0), x(1), \dots, x(L-1))$$

5

et

10

$$H = \begin{pmatrix} h(0) & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ h(1) & h(0) & 0 & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ h(L-2) & \cdot & & & h(0) & 0 \\ h(L-1) & h(L-2) & \cdot & \cdot & h(1) & h(0) \end{pmatrix}$$

15

20 **[0051]** Le vecteur D constitue un vecteur-cible pour le module 28 de recherche de l'excitation. Ce module 28 détermine un mot de code du répertoire qui maximise la corrélation normalisée  $P_k^2/\alpha_k^2$  dans laquelle :

$$P_k = D \cdot c_k^T$$

25

$$\alpha_k^2 = c_k \cdot H^T \cdot H \cdot c_k^T = c_k \cdot U \cdot c_k^T$$

**[0052]** L'indice k optimal ayant été déterminé, le gain d'excitation  $\beta$  est pris égal à  $\beta = P_k/\alpha_k^2$ .

30 **[0053]** En référence à la figure 3, le décodeur CELP comprend un démultiplexeur 8 recevant le flux binaire issu du codeur. Les valeurs quantifiées des paramètres d'excitation EXC et des paramètres de synthèse LTP et LPC sont fournies au générateur 10, à l'amplificateur 12 et aux filtres 14, 16 pour reconstituer le signal synthétique s, qui est soumis au post-filtre 17 puis converti en analogique par le convertisseur 18 avant d'être amplifié puis appliqué à un haut-parleur 19 pour restituer la parole originale.

35 **[0054]** Dans le cas du décodeur de la figure 3, les paramètres LPC sont par exemple constitués par des index de quantification des coefficients de réflexion  $r_i^p$  (également appelés coefficients de corrélation partielle ou PARCOR) relatifs aux différents étages de prédiction linéaire. Un module 15 récupère les valeurs quantifiées des  $r_i^p$  à partir des index de quantification, et les convertit pour fournir les q jeux de coefficients de prédiction linéaire. Cette conversion est par exemple effectuée par la même méthode récursive que dans l'algorithme de Levinson-Durbin.

40 **[0055]** Les jeux de coefficients  $a_i^p$  sont fournis au filtre 16 de synthèse à court terme constitué par une succession de q filtres/étages de fonctions de transfert  $1/A^1(z), \dots, 1/A^q(z)$  données par la relation (4). Le filtre 16 pourrait également être en un seul étage de fonction de transfert  $1/A(z)$  donnée par la relation (1) dans laquelle les coefficients  $a_i$  ont été calculés selon les relations (9) à (13).

**[0056]** Les jeux de coefficients  $a_i^p$  sont également fournis au post-filtre 17 qui, dans l'exemple considéré, a une fonction de transfert de la forme

45

$$H_{PF}(z) = G_P \frac{APN(z)}{APP(z)} (1 - \mu r_1 z^{-1})$$

50 où APN(z) et APP(z) sont des fonctions de transfert d'ordre M de type RIF,  $G_P$  est un facteur de gain constant,  $\mu$  est une constante positive et  $r_1$  désigne le premier coefficient de réflexion. Le coefficient de réflexion  $r_1$  peut être celui associé aux coefficients  $a_i$  du filtre de synthèse composé, qu'il est alors nécessaire de calculer. On peut également prendre pour  $r_1$  le premier coefficient de réflexion du premier étage de prédiction ( $r_1 = r_1^1$ ) moyennant un éventuel ajustement de la constante  $\mu$ . Pour le terme APN(z)/APP(z), une première possibilité est de prendre APN(z)=A(z/ $\beta_1$ ) et APP(z)=A(z/ $\beta_2$ ) avec  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ , ce qui revient à la forme habituelle (3) avec A(z) de la forme (7).

55 **[0057]** Comme dans le cas du filtre de pondération perceptuelle du codeur, l'invention permet d'adopter des coefficients  $\beta_1$  et  $\beta_2$  différents d'un étage au suivant (formule (8)), soit :

$$APP(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z/\beta_2^p)$$

5

$$APN(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z/\beta_1^p)$$

10

**[0058]** Dans le cas d'un signal en bande élargie avec  $q=2$ ,  $M_1=2$  et  $M_2=13$ , on a trouvé que le choix  $\beta_1^1=0,7$ ,  $\beta_2^1=0,9$ ,  $\beta_1^2=0,95$  et  $\beta_2^2=0,97$  fournissait de bons résultats.

**[0059]** L'invention a été décrite ci-dessus dans son application à un codeur prédictif à adaptation "forward", c'est-à-dire dans lequel le signal audiofréquence faisant l'objet de l'analyse par prédiction linéaire est le signal d'entrée du codeur. L'invention s'applique également à des codeurs/décodeurs prédictifs à adaptation "backward", dans lesquels le signal synthétique fait l'objet de l'analyse par prédiction linéaire au codeur et au décodeur (voir J.H. Chen et al: "A Low-Delay CELP Coder for the CCITT 16 kbit/s Speech Coding Standard", IEEE J.SAC, Vol.10, n°5, pages 830-848, juin 1992). Les figures 5 et 6 montrent respectivement un décodeur CELP et un codeur CELP à adaptation "backward" mettant en oeuvre la présente invention. Des références numériques identiques à celles des figures 3 et 4 ont été utilisées pour désigner des éléments analogues.

**[0060]** Le décodeur à adaptation "backward" reçoit seulement les valeurs de quantification des paramètres définissant le signal d'excitation  $u(n)$  à appliquer au filtre de synthèse à court terme 16. Dans l'exemple considéré, ces paramètres sont l'index  $k$  et le gain associé  $\beta$  ainsi que les paramètres LTP. Le signal synthétique  $s(n)$  est traité par un module 124 d'analyse par prédiction linéaire multi-étages identique au module 24 de la figure 3. Le module 124 fournit les paramètres LPC au filtre 16 pour une ou plusieurs trames suivantes du signal d'excitation, et au post-filtre 17 dont les coefficients sont obtenus comme décrit précédemment.

**[0061]** Le codeur correspondant, représenté sur la figure 6, effectue l'analyse par prédiction linéaire multi-étages sur le signal synthétique généré localement et non sur le signal audio  $s(n)$ . Il comprend ainsi un décodeur local 132 consistant essentiellement en les éléments notés 10, 12, 14, 16 et 124 du décodeur de la figure 5. Outre les échantillons  $u$  du dictionnaire adaptatif et les états initiaux  $s$  du filtre 36, le décodeur local 132 fournit les paramètres LPC obtenus par analyse du signal synthétique, qui sont utilisés par le module 39 d'évaluation de la pondération perceptuelle et le module 40 de calcul des réponses impulsionnelles  $h$  et  $h'$ . Pour le reste, le fonctionnement du codeur est identique à celui du codeur décrit en référence à la figure 4, sauf que le module d'analyse LPC 24 n'est plus nécessaire. Seuls les paramètres EXC et LTP sont envoyés vers le décodeur.

**[0062]** Les figures 7 et 8 sont des schémas synoptiques d'un décodeur CELP et d'un codeur CELP à adaptation mixte. Les coefficients de prédiction linéaire du ou des premiers étages résultent d'une analyse "forward" du signal audiofréquence effectuée par le codeur, tandis que les coefficients de prédiction linéaire du ou des derniers étages résultent d'une analyse "backward" du signal synthétique effectuée par le décodeur (et par un décodeur local prévu dans le codeur). Des références numériques identiques à celles des figures 3 à 6 ont été utilisées pour désigner des éléments analogues.

**[0063]** Le décodeur mixte illustré sur la figure 7 reçoit les valeurs de quantification des paramètres EXC, LTP définissant le signal d'excitation  $u(n)$  à appliquer au filtre de synthèse à court terme 16, et les valeurs de quantification des paramètres LPC/F déterminés par l'analyse "forward" effectuée par le codeur. Ces paramètres LPC/F représentent  $q_F$  jeux de coefficients de prédiction linéaire  $a_1^{F,p}, \dots, a_{M_{Fp}}^{F,p}$  pour  $1 \leq p \leq q_F$ , et définissent une première composante  $1/A^F(z)$  de la fonction de transfert  $1/A(z)$  du filtre 16 :

50

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z) = \prod_{p=1}^{q_F} \left[ 1 + \sum_{i=1}^{M_{Fp}} a_i^{F,p} \cdot z^{-i} \right] ;$$

55

**[0064]** Pour l'obtention de ces paramètres LPC/F, le codeur mixte représenté sur la figure 8 comporte un module 224/F qui analyse le signal audiofréquence à coder  $s(n)$  de la manière décrite en référence à la figure 1 si  $q_F > 1$ , ou

en un seul étage si  $q_F=1$ .

**[0065]** L'autre composante  $1/A^B(z)$  du filtre de synthèse à court terme 16 de fonction de transfert  $1/A(z)=1/[A^F(z).A^B(z)]$  est donnée par

5

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,P}(z) = \prod_{p=1}^{q_B} \left( 1 + \sum_{i=1}^{MBP} a_i^{B,P} \cdot z^{-i} \right)$$

10

**[0066]** Pour déterminer les coefficients  $a_i^{B,P}$ , le décodeur mixte comporte un filtre inverse 200 de fonction de transfert  $A^F(z)$  qui filtre le signal synthétique  $s(n)$  produit par le filtre de synthèse à court terme 16 pour produire un signal synthétique filtré  $s^0(n)$ . Un module 224/B effectue l'analyse par prédiction linéaire de ce signal  $s^0(n)$  de la manière décrite en référence à la figure 1 si  $q_B>1$ , ou en un seul étage si  $q_B=1$ . Les coefficients LPC/B ainsi obtenus sont fournis au filtre de synthèse 16 pour définir sa seconde composante pour la trame suivante. Ils sont également fournis, de même que les coefficients LPC/F au post-filtre 17, dont les composantes APN(z) et APP(z) sont soit de la forme APN(z)=A(z/β<sub>1</sub>), APP(z)=A(z/β<sub>2</sub>), soit de la forme :

20

$$APN(z) = \left[ \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,P}(z/\beta_1^{F,P}) \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,P}(z/\beta_1^{B,P}) \right]$$

25

$$APP(z) = \left[ \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,P}(z/\beta_2^{F,P}) \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,P}(z/\beta_2^{B,P}) \right]$$

30

les paires de coefficient  $\beta_1^{F,P}$ ,  $\beta_2^{F,P}$  et  $\beta_1^{B,P}$ ,  $\beta_2^{B,P}$  étant optimisables séparément avec  $0 \leq \beta_1^{F,P} \leq \beta_2^{F,P} \leq 1$  et  $0 \leq \beta_1^{B,P} \leq \beta_2^{B,P} \leq 1$ .

**[0067]** Le décodeur local 232 prévu dans le codeur mixte consiste essentiellement en les éléments notés 10, 12, 14, 16, 200 et 224/B du décodeur de la figure 7. Outre les échantillons  $u$  du dictionnaire adaptatif et les états initiaux  $s$  du filtre 36, le décodeur local 232 fournit les paramètres LPC/B qui sont utilisés, avec les paramètres LPC/F fournis par le module d'analyse 224/F, par le module 39 d'évaluation de la pondération perceptuelle et le module 40 de calcul des réponses impulsionnelles  $h$  et  $h'$ .

**[0068]** La fonction de transfert du filtre de pondération perceptuelle 38 évaluée par le module 39 est soit de la forme  $W(z)=A(z/\gamma_1)/A(z/\gamma_2)$ , soit de la forme

45

$$W(z) = \left[ \prod_{p=1}^{q_F} \left[ \frac{A^{F,P}(z/\gamma_1^{F,P})}{A^{F,P}(z/\gamma_2^{F,P})} \right] \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} \left[ \frac{A^{B,P}(z/\gamma_1^{B,P})}{A^{B,P}(z/\gamma_2^{B,P})} \right] \right]$$

50

les paires de coefficients  $\gamma_1^{F,P}$ ,  $\gamma_2^{F,P}$ , et  $\gamma_1^{B,P}$ ,  $\gamma_2^{B,P}$  étant optimisables séparément avec  $0 \leq \gamma_2^{F,P} \leq \gamma_1^{F,P} \leq 1$  et  $0 \leq \gamma_2^{B,P} \leq \gamma_1^{B,P} \leq 1$ .

**[0069]** Pour le reste, le fonctionnement du codeur mixte est identique à celui du codeur décrit en référence à la figure 4. Seuls les paramètres EXC, LTP et LPC/F sont envoyés vers le décodeur.

55

**Revendications**

1. Procédé d'analyse par prédiction linéaire d'ordre M d'un signal audiofréquence ( $s^0(n)$ ), pour déterminer des paramètres spectraux dépendant d'un spectre à court terme du signal audiofréquence, caractérisé en ce que le procédé est divisé en q étages de prédiction successifs ( $5_p$ ), q étant un entier supérieur à 1, et en ce qu'à chaque étage de prédiction p ( $1 \leq p \leq q$ ), on détermine des paramètres représentant un nombre  $M_p$ , prédéfini pour chaque étage p, de coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le signal audiofréquence à analyser constituant le signal d'entrée ( $s^0(n)$ ) du premier étage, et le signal d'entrée ( $s^p(n)$ ) d'un étage p+1 étant constitué par le signal d'entrée ( $s^{p-1}(n)$ ) de l'étage p filtré par un filtre de fonction de transfert

$$A^D(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i}$$

l'ordre de prédiction M étant tel que

$$M = \sum_{p=1}^q M_p$$

2. Procédé d'analyse selon la revendication 1, caractérisé en ce que le nombre  $M_p$  de coefficients de prédiction linéaire augmente d'un étage au suivant.

3. Procédé de codage d'un signal audiofréquence, comprenant les étapes suivantes :

- analyse par prédiction linéaire du signal audiofréquence ( $s(n)$ ) numérisé en trames successives pour déterminer des paramètres (LPC) définissant un filtre de synthèse à court terme (16) ;
- détermination de paramètres d'excitation ( $k, \beta, LTP$ ) définissant un signal d'excitation ( $u(n)$ ) à appliquer au filtre de synthèse à court terme (16) pour produire un signal synthétique ( $s(n)$ ) représentatif du signal audiofréquence ; et
- production de valeurs de quantification des paramètres définissant le filtre de synthèse à court terme et des paramètres d'excitation,

caractérisé en ce que l'analyse par prédiction linéaire est un processus à q étages successifs ( $5_p$ ), q étant un entier supérieur à 1, ledit processus comportant, à chaque étage de prédiction p ( $1 \leq p \leq q$ ), la détermination de paramètres représentant un nombre  $M_p$ , prédéfini pour chaque étage p, de coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le signal audiofréquence à coder ( $s(n)$ ) constituant le signal d'entrée ( $s^0(n)$ ) du premier étage, et le signal d'entrée ( $s^p(n)$ ) d'un étage p+1 étant constitué par le signal d'entrée ( $s^{p-1}(n)$ ) de l'étage p filtré par un filtre de fonction de transfert

$$A^D(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i}$$

le filtre de synthèse à court terme (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)$  avec

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^D(z)$$

4. Procédé de codage selon la revendication 3, caractérisé en ce que le nombre  $M_p$  de coefficients de prédiction

linéaire augmente d'un étage au suivant.

5. Procédé de codage selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que certains au moins des paramètres d'excitation sont déterminés en minimisant l'énergie d'un signal d'erreur résultant du filtrage de la différence entre le signal audiofréquence (s(n)) et le signal synthétique (ŝ(n)) par au moins un filtre de pondération perceptuelle (38) dont la fonction de transfert est de la forme  $W(z)=A(z/\gamma_1)/A(z/\gamma_2)$  où  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  désignent des coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$ .

6. Procédé de codage selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que certains au moins des paramètres d'excitation sont déterminés en minimisant l'énergie d'un signal d'erreur résultant du filtrage de la différence entre le signal audiofréquence (s(n)) et le signal synthétique (ŝ(n)) par au moins un filtre de pondération perceptuelle (38) dont la fonction de transfert est de la forme

$$W(z) = \prod_{p=1}^q [A^p(z/\gamma_1^p) / A^p(z/\gamma_2^p)] ,$$

où  $\gamma_1^p, \gamma_2^p$  désignent des paires de coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2^p \leq \gamma_1^p \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q$ .

7. Procédé de décodage d'un flux binaire pour construire un signal audiofréquence codé par ledit flux binaire, caractérisé en ce que :

- on reçoit des valeurs de quantification de paramètres (LPC) définissant un filtre de synthèse à court terme (16) et de paramètres d'excitation (k,β,LTP), les paramètres définissant le filtre de synthèse représentant un nombre q plus grand que 1 de jeux de coefficients de prédiction linéaire ( $a_i^p$ ), chaque jeu p comportant un nombre prédéfini  $M_p$  de coefficients ;
- on produit un signal d'excitation (u(n)) sur la base des valeurs de quantification des paramètres d'excitation ; et
- on produit un signal audiofréquence synthétique (ŝ(n)) en filtrant le signal d'excitation par un filtre de synthèse (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)$  avec

$$A(z) = \prod_{p=1}^q \left( 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i} \right)$$

où les coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  correspondent au p-ième jeu de coefficients de prédiction linéaire pour  $1 \leq p \leq q$ .

8. Procédé de décodage selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit signal audiofréquence synthétique (ŝ(n)) est appliqué à un post-filtre (17) dont la fonction de transfert ( $H_{PF}(z)$ ) comporte un terme de la forme  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$ , où  $\beta_1$  et  $\beta_2$  désignent des coefficients tels que  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ .

9. Procédé de décodage selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit signal audiofréquence synthétique (ŝ(n)) est appliqué à un post-filtre (17) dont la fonction de transfert ( $H_{PF}(z)$ ) comporte un terme de la forme

$$\prod_{p=1}^q [A^p(z/\beta_1^p) / A^p(z/\beta_2^p)] ,$$

où  $\beta_1^p, \beta_2^p$  désignent des paires de coefficients tels que  $0 \leq \beta_1^p \leq \beta_2^p \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q$ , et  $A^p(z)$  représente, pour le p-ième jeu de coefficients de prédiction linéaire, la fonction

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i}$$

5

10. Procédé de codage d'un premier signal audiofréquence numérisé en trames successives, comprenant les étapes suivantes :

- analyse par prédiction linéaire d'un second signal audiofréquence  $\hat{s}(n)$  pour déterminer des paramètres (LPC) définissant un filtre de synthèse à court terme (16) ;
- détermination de paramètres d'excitation ( $k, \beta, LTP$ ) définissant un signal d'excitation ( $u(n)$ ) à appliquer au filtre de synthèse à court terme (16) pour produire un signal synthétique ( $s(n)$ ) représentatif du premier signal audiofréquence, ce signal synthétique constituant ledit second signal audiofréquence pour au moins une trame suivante ; et
- production de valeurs de quantification des paramètres d'excitation,

15

caractérisé en ce que l'analyse par prédiction linéaire est un processus à  $q$  étages successifs ( $5_p$ ),  $q$  étant un entier supérieur à 1, ledit processus comportant, à chaque étage de prédiction  $p$  ( $1 \leq p \leq q$ ), la détermination de paramètres représentant un nombre  $M_p$ , prédéfini pour chaque étage  $p$ , de coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le second signal audiofréquence ( $s(n)$ ) constituant le signal d'entrée ( $s^0(n)$ ) du premier étage, et le signal d'entrée ( $s^p(n)$ ) d'un étage  $p+1$  étant constitué par le signal d'entrée ( $s^{p-1}(n)$ ) de l'étage  $p$  filtré par un filtre de fonction de transfert

20

25

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i},$$

30

le filtre de synthèse à court terme (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)$  avec

35

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z)$$

11. Procédé de codage selon la revendication 10, caractérisé en ce que le nombre  $M_p$  de coefficients de prédiction linéaire augmente d'un étage au suivant.

40

12. Procédé de codage selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en ce que certains au moins des paramètres d'excitation sont déterminés en minimisant l'énergie d'un signal d'erreur résultant du filtrage de la différence entre le premier signal audiofréquence ( $s(n)$ ) et le signal synthétique ( $\hat{s}(n)$ ) par au moins un filtre de pondération perceptuelle (38) dont la fonction de transfert est de la forme  $W(z) = A(z/\gamma_1)/A(z/\gamma_2)$  où  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  désignent des coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$ .

45

13. Procédé de codage selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en ce que certains au moins des paramètres d'excitation sont déterminés en minimisant l'énergie d'un signal d'erreur résultant du filtrage de la différence entre le premier signal audiofréquence ( $s(n)$ ) et le signal synthétique ( $\hat{s}(n)$ ) par au moins un filtre de pondération perceptuelle (38) dont la fonction de transfert est de la forme

50

$$W(z) = \prod_{p=1}^q [A^p(z/\gamma_1^p) / A^p(z/\gamma_2^p)] ,$$

55

où  $\gamma_1^p, \gamma_2^p$  désignent des paires de coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2^p \leq \gamma_1^p \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q$ .

14. Procédé de décodage d'un flux binaire pour construire en trames successives un signal audiofréquence codé par ledit flux binaire, caractérisé en ce que :

- on reçoit des valeurs de quantification de paramètres d'excitation ( $k, \beta, LTP$ ) ;
- on produit un signal d'excitation ( $u(n)$ ) sur la base des valeurs de quantification des paramètres d'excitation ;
- on produit un signal audiofréquence synthétique ( $s(n)$ ) en filtrant le signal d'excitation par un filtre de synthèse à court terme (16) ;
- on effectue une analyse par prédiction linéaire du signal synthétique ( $\hat{s}(n)$ ) pour obtenir des coefficients du filtre de synthèse à court terme (16) pour au moins une trame suivante,

et en ce que l'analyse par prédiction linéaire est un processus à  $q$  étages successifs ( $5_p$ ),  $q$  étant un entier supérieur à 1, ledit processus comportant, à chaque étage de prédiction  $p$  ( $1 \leq p \leq q$ ), la détermination de paramètres représentant un nombre  $M_p$ , prédéfini pour chaque étage  $p$ , de coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le signal synthétique ( $s(n)$ ) constituant le signal d'entrée ( $s^0(n)$ ) du premier étage, et le signal d'entrée ( $s^p(n)$ ) d'un étage  $p+1$  étant constitué par le signal d'entrée ( $s^{p-1}(n)$ ) de l'étage  $p$  filtré par un filtre de fonction de transfert

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i},$$

le filtre de synthèse à court terme (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)$  avec

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z)$$

15. Procédé de décodage selon la revendication 14, caractérisé en ce que ledit signal audiofréquence synthétique ( $\hat{s}(n)$ ) est appliqué à un post-filtre (17) dont la fonction de transfert ( $H_{PF}(z)$ ) comporte un terme de la forme  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$ , où  $\beta_1$  et  $\beta_2$  désignent des coefficients tels que  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ .

16. Procédé de décodage selon la revendication 14, caractérisé en ce que ledit signal audiofréquence synthétique ( $\hat{s}(n)$ ) est appliqué à un post-filtre (17) dont la fonction de transfert ( $H_{PF}(z)$ ) comporte un terme de la forme

$$\prod_{p=1}^q [A^p(z/\beta_1^p) / A^p(z/\beta_2^p)],$$

où  $\beta_1^p, \beta_2^p$  désignent des paires de coefficients tels que  $0 \leq \beta_1^p \leq \beta_2^p \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q$ .

17. Procédé de codage d'un premier signal audiofréquence numérisé en trames successives, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- analyse par prédiction linéaire du premier signal audiofréquence ( $s(n)$ ) pour déterminer des paramètres (LPC/F) définissant une première composante d'un filtre de synthèse à court terme (16) ;
- détermination de paramètres d'excitation ( $k, \beta, LTP$ ) définissant un signal d'excitation ( $u(n)$ ) à appliquer au filtre de synthèse à court terme (16) pour produire un signal synthétique ( $s(n)$ ) représentatif du premier signal audiofréquence ;
- production de valeurs de quantification des paramètres définissant la première composante du filtre de synthèse à court terme et des paramètres d'excitation ;
- filtrage du signal synthétique ( $s(n)$ ) par un filtre de fonction de transfert correspondant à l'inverse de la fonction de transfert de la première composante du filtre de synthèse à court terme ; et
- analyse par prédiction linéaire du signal synthétique filtré ( $\hat{s}(n)$ ) pour obtenir des coefficients d'une seconde

composante du filtre de synthèse à court terme pour au moins une trame suivante,

en ce que l'analyse par prédiction linéaire du premier signal audiofréquence (s(n)) est un processus à  $q_F$  étages successifs ( $5_p$ ),  $q_F$  étant un entier au moins égal à 1, ledit processus à  $q_F$  étages comportant, à chaque étage de prédiction p ( $1 \leq p \leq q_F$ ), la détermination de paramètres représentant un nombre MFp, prédéfini pour chaque étage p, de coefficients  $a_1^{F,p}, \dots, a_{MFp}^{F,p}$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le premier signal audiofréquence (s(n)) constituant le signal d'entrée ( $s^0(n)$ ) du premier étage du processus à  $q_F$  étages, et le signal d'entrée ( $s^p(n)$ ) d'un étage p+1 du processus à  $q_F$  étages étant constitué par le signal d'entrée ( $s^{p-1}(n)$ ) de l'étage p du processus à  $q_F$  étages filtré par un filtre de fonction de transfert

$$A^{F,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MFp} a_i^{F,p} \cdot z^{-i},$$

la première composante du filtre de synthèse à court terme (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A^F(z)$  avec

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z),$$

et en ce que l'analyse par prédiction linéaire du signal synthétique filtré est un processus à  $q_B$  étages successifs ( $5_p$ ),  $q_B$  étant un entier au moins égal à 1, ledit processus à  $q_B$  étages comportant, à chaque étage de prédiction p ( $1 \leq p \leq q_B$ ), la détermination de paramètres représentant un nombre MBp, prédéfini pour chaque étage p, de coefficients  $a_1^{B,p}, \dots, a_{MBp}^{B,p}$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le signal synthétique filtré ( $s^0(n)$ ) constituant le signal d'entrée ( $s^0(n)$ ) du premier étage du processus à  $q_B$  étages, et le signal d'entrée ( $s^p(n)$ ) d'un étage p+1 du processus à  $q_B$  étages étant constitué par le signal d'entrée ( $s^{p-1}(n)$ ) de l'étage p du processus à  $q_B$  étages filtré par un filtre de fonction de transfert

$$A^{B,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MBp} a_i^{B,p} \cdot z^{-i},$$

la seconde composante du filtre de synthèse à court terme (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A^B(z)$  avec

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,p}(z),$$

et le filtre de synthèse à court terme (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A(z)$  avec  $A(z) = A^F(z) \cdot A^B(z)$ .

**18.** Procédé de codage selon la revendication 17, caractérisé en ce que certains au moins des paramètres d'excitation sont déterminés en minimisant l'énergie d'un signal d'erreur résultant du filtrage de la différence entre le premier signal audiofréquence (s(n)) et le signal synthétique (s(n)) par au moins un filtre de pondération perceptuelle (38) dont la fonction de transfert est de la forme  $W(z) = A(z/\gamma_1)/A(z/\gamma_2)$  où  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  désignent des coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$ .

**19.** Procédé de codage selon la revendication 17, caractérisé en ce que certains au moins des paramètres d'excitation

sont déterminés en minimisant l'énergie d'un signal d'erreur résultant du filtrage de la différence entre le premier signal audiofréquence (s(n)) et le signal synthétique (s'(n)) par au moins un filtre de pondération perceptuelle (38) dont la fonction de transfert est de la forme

5

10

$$W(z) = \left[ \prod_{p=1}^{q_F} \frac{A^{F,p}(z/\gamma_1^{F,p})}{A^{F,p}(z/\gamma_2^{F,p})} \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} \frac{A^{B,p}(z/\gamma_1^{B,p})}{A^{B,p}(z/\gamma_2^{B,p})} \right]$$

15

où  $\gamma_1^{F,p}, \gamma_2^{F,p}$  désignent des paires de coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2^{F,p} \leq \gamma_1^{F,p} \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q_F$ , et  $\gamma_1^{B,p}, \gamma_2^{B,p}$  désignent des paires de coefficients d'expansion spectrale tels que  $0 \leq \gamma_2^{B,p} \leq \gamma_1^{B,p} \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q_B$ .

20. Procédé de décodage d'un flux binaire pour construire en trames successives un signal audiofréquence codé par ledit flux binaire, caractérisé en ce que :

20

- on reçoit des valeurs de quantification de paramètres (LPC/F) définissant une première composante d'un filtre de synthèse à court terme (16) et de paramètres d'excitation (k,β,LTP), les paramètres définissant la première composante du filtre de synthèse à court terme représentant un nombre  $q_F$  au moins égal à 1 de jeux de coefficients de prédiction linéaire  $a_1^{F,p}, \dots, a_{MFp}^{F,p}$  pour  $1 \leq p \leq q_F$ , chaque jeu p comportant un nombre prédéfini MFp de coefficients, la première composante du filtre de synthèse à court terme (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A^F(z)$  avec

25

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z) = \prod_{p=1}^{q_F} \left( 1 + \sum_{i=1}^{MFp} a_i^{F,p} \cdot z^{-i} \right) ;$$

30

- on produit un signal d'excitation (u(n)) sur la base des valeurs de quantification des paramètres d'excitation ;
- on produit un signal audiofréquence synthétique (s(n)) en filtrant le signal d'excitation par un filtre de synthèse à court terme (16) de fonction de transfert  $1/A(z)$  avec  $A(z) = A^F(z) \cdot A^B(z)$ ,  $1/A^B(z)$  représentant la fonction de transfert d'une seconde composante du filtre de synthèse à court terme (16) ;
- on filtre le signal synthétique (s(n)) par un filtre de fonction de transfert  $A^F(z)$  ; et
- on effectue une analyse par prédiction linéaire du signal synthétique filtré ( $s^0(n)$ ) pour obtenir des coefficients de la seconde composante du filtre de synthèse à court terme (16) pour au moins une trame suivante,

35

40

et en ce que l'analyse par prédiction linéaire du signal synthétique filtré est un processus à  $q_B$  étages successifs ( $5_p$ ),  $q_B$  étant un entier au moins égal à 1, ledit processus comportant, à chaque étage de prédiction p ( $1 \leq p \leq q_B$ ), la détermination de paramètres représentant un nombre MBp, prédéfini pour chaque étage p, de coefficients  $a_1^{B,p}, \dots, a_{MBp}^{B,p}$  de prédiction linéaire d'un signal d'entrée dudit étage, le signal synthétique filtré ( $s^0(n)$ ) constituant le signal d'entrée ( $s^0(n)$ ) du premier étage, et le signal d'entrée ( $s^p(n)$ ) d'un étage p+1 étant constitué par le signal d'entrée ( $s^{p-1}(n)$ ) de l'étage p filtré par un filtre de fonction de transfert

45

$$A^{B,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MBp} a_i^{B,p} \cdot z^{-i} ,$$

50

la seconde composante du filtre de synthèse à court terme (16) ayant une fonction de transfert de la forme  $1/A^B(z)$  avec

55

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,p}(z)$$

5

21. Procédé de décodage selon la revendication 20, caractérisé en ce que ledit signal audiofréquence synthétique ( $\hat{s}(n)$ ) est appliqué à un post-filtre (17) dont la fonction de transfert ( $H_{PF}(z)$ ) comporte un terme de la forme  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$ , où  $\beta_1$  et  $\beta_2$  désignent des coefficients tels que  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ .

10

22. Procédé de décodage selon la revendication 20, caractérisé en ce que ledit signal audiofréquence synthétique ( $\hat{s}(n)$ ) est appliqué à un post-filtre (17) dont la fonction de transfert ( $H_{PF}(z)$ ) comporte un terme de la forme

15

$$\left[ \prod_{p=1}^{q_F} \left[ \frac{A^{F,p}(z/\beta_1^{F,p})}{A^{F,p}(z/\beta_2^{F,p})} \right] \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} \left[ \frac{A^{B,p}(z/\beta_1^{B,p})}{A^{B,p}(z/\beta_2^{B,p})} \right] \right]$$

20

où  $\beta_1^{F,p}, \beta_2^{F,p}$  désignent des paires de coefficients tels que  $0 \leq \beta_1^{F,p} \leq \beta_2^{F,p} \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q_F$ , et  $\beta_1^{B,p}, \beta_2^{B,p}$  désignent des paires de coefficients tels que  $0 \leq \beta_1^{B,p} \leq \beta_2^{B,p} \leq 1$  pour  $1 \leq p \leq q_B$ .

25 **Patentansprüche**

1. Verfahren zur Analyse eines Tonfrequenzsignals ( $s^0(n)$ ) durch lineare Prädiktion der Ordnung M zur Bestimmung von Spektralparametern abhängig von einem Kurzzeitspektrum des Tonfrequenzsignals, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verfahren unterteilt ist in q aufeinanderfolgende Prädiktionsstufen ( $5_p$ ), wobei q eine ganze Zahl größer als 1 ist, und daß man in jeder Prädiktionsstufe p ( $1 \leq p \leq q$ ) Parameter bestimmt, welche eine für die jeweilige Stufe p im voraus festgelegte Zahl  $M_p$  von linearen Prädiktionskoeffizienten  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  eines Eingangssignals der Stufe repräsentieren, wobei das zu analysierende Tonfrequenzsignal das Eingangssignal ( $s^0(n)$ ) der ersten Stufe bildet und das Eingangssignal ( $s^p(n)$ ) einer Stufe p+1 von dem mittels eines Filters der Übertragungsfunktion

35

$$A^D(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i}$$

40

gefilterten Eingangssignal ( $s^{p-1}(n)$ ) der Stufe p gebildet ist, wobei für die Prädiktionsordnung M

45

$$M = \sum_{p=1}^q M_p$$

50

gilt.

2. Analyseverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl  $M_p$  der linearen Prädiktionskoeffizienten von einer Stufe zur nächsten zunimmt.

55

3. Verfahren zur Codierung eines Tonfrequenzsignals, umfassend die folgenden Schritte:

- Analysieren des in aufeinanderfolgende Blöcke digitalisierten Tonfrequenzsignals ( $s(n)$ ) durch lineare Prädiktion zur Bestimmung von Parametern (LPC), welche ein Kurzzeitsynthesefilter (16) definieren,

## EP 0 782 128 B1

- Bestimmen von Anregungsparametern ( $k, \beta, \text{LTP}$ ), welche ein Anregungssignal ( $u(n)$ ) definieren, das zur Erzeugung eines das Tonfrequenzsignal repräsentierenden Synthesesignals ( $s(n)$ ) an das Kurzzeitsynthesefilter (16) anzulegen ist, und
- Erzeugen von Quantisierungswerten der das Kurzzeitsynthesefilter definierenden Parameter und der Anregungsparameter,

**dadurch gekennzeichnet, daß** die Analyse durch lineare Prädiktion ein Vorgang in  $q$  aufeinanderfolgenden Stufen ( $5_p$ ) ist, wobei  $q$  eine ganze Zahl größer als 1 ist, wobei dieser Vorgang in jeder Prädiktionsstufe  $p$  ( $1 \leq p \leq q$ ) die Bestimmung von Parametern umfaßt, welche eine für die jeweilige Stufe  $p$  im voraus festgelegte Zahl  $M_p$  vom linearen Prädiktionskoeffizienten  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  eines Eingangssignals der Stufe repräsentieren, wobei das zu codierende Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) das Eingangssignal ( $s^0(n)$ ) der ersten Stufe bildet und das Eingangssignal ( $s^p(n)$ ) einer Stufe  $p+1$  von dem mittels eines Filters der Übertragungsfunktion

$$A^D(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i}$$

gefilterten Eingangssignal ( $s^{p-1}(n)$ ) der Stufe  $p$  gebildet ist, wobei das Kurzzeitsynthesefilter (16) eine Übertragungsfunktion der Form  $1/A(z)$  mit

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^D(z)$$

besitzt.

4. Codiervorgang nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl  $M_p$  der linearen Prädiktionskoeffizienten von einer Stufe zur nächsten zunimmt.
5. Codiervorgang nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige der Anregungsparameter bestimmt werden, indem die Energie eines Fehlersignals minimiert wird, welches aus der Filterung der Differenz zwischen dem Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) und dem Synthesesignal ( $s(n)$ ) mittels mindestens eines Wahrnehmungswichtungsfilters (38) resultiert, dessen Übertragungsfunktion die Form  $W(z) = A(z/\gamma_1) / A(z/\gamma_2)$  besitzt, wobei  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  spektrale Ausdehnungskoeffizienten mit  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$  bezeichnen.
6. Codiervorgang nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige der Anregungsparameter bestimmt werden, indem die Energie eines Fehlersignals minimiert wird, welches aus der Filterung der Differenz zwischen dem Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) und dem Synthesesignal ( $s(n)$ ) mittels mindestens eines Wahrnehmungswichtungsfilters (38) resultiert, dessen Übertragungsfunktion die Form

$$W(z) = \prod_{p=1}^q [A^D(z/\gamma_1^p) / A^D(z/\gamma_2^p)]$$

besitzt, wobei  $\gamma_1^p, \gamma_2^p$  Paare von spektralen Ausdehnungskoeffizienten mit  $0 \leq \gamma_2^p \leq \gamma_1^p \leq 1$  für  $1 \leq p \leq q$  bezeichnen.

7. Verfahren zur Decodierung eines binären Stroms zur Erzeugung eines durch den binären Strom codierten Tonfrequenzsignals,  
**dadurch gekennzeichnet, daß** man:

- Quantisierungswerte von Parametern (LPC), welche ein Kurzzeitsynthesefilter (16) definieren, und von Anregungsparametern ( $k, \beta, \text{LTP}$ ) erhält, wobei die das Synthesefilter definierenden Parameter eine Zahl  $q$ , die größer als 1 ist, von Sätzen von linearen Prädiktionskoeffizienten ( $a_i^p$ ) repräsentieren, wobei jeder Satz  $p$  eine

im voraus festgelegte Zahl  $M_p$  von Koeffizienten umfaßt,

- auf Grundlage der Quantisierungswerte der Anregungsparameter ein Anregungssignal ( $u(n)$ ) erzeugt und
- ein synthetisiertes Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) erzeugt, indem das Anregungssignal mittels eines Synthesefilters (16) mit einer Übertragungsfunktion der Form  $1/A(z)$  mit

5

$$A(z) = \prod_{p=1}^q \left( 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i} \right)$$

10

gefiltert wird, wobei die Koeffizienten  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  dem  $p$ -ten Satz von linearen Prädiktionskoeffizienten entsprechen, wobei  $1 \leq p \leq q$ .

- 15 **8.** Decodierverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das synthetisierte Tonfrequenzsignal ( $\hat{s}(n)$ ) an ein Nachfilter (17) angelegt wird, dessen Übertragungsfunktion ( $H_{PF}(z)$ ) einen Term der Form  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$  umfaßt, wobei  $\beta_1$  und  $\beta_2$  Koeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$  gilt.

- 20 **9.** Decodierverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das synthetisierte Tonfrequenzsignal ( $\hat{s}(n)$ ) an ein Nachfilter (17) angelegt wird, dessen Übertragungsfunktion ( $H_{PF}(z)$ ) einen Term der Form

25

$$\prod_{p=1}^q \{ A^D(z/\beta_1^p) / A^D(z/\beta_2^p) \}$$

umfaßt, wobei  $\beta_1^p, \beta_2^p$  Paare von Koeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \beta_1^p \leq \beta_2^p \leq 1$  für  $1 \leq p \leq q$  gilt, und wobei  $A^D(z)$  für den  $p$ -ten Satz von linearen Prädiktionskoeffizienten die Funktion

30

$$A^D(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i}$$

35

repräsentiert.

- 40 **10.** Verfahren zur Codierung eines ersten, in aufeinanderfolgende Blöcke digitalisierten Tonfrequenzsignals, umfassend die folgenden Schritte:

- Analysieren eines zweiten Tonfrequenzsignals ( $\hat{s}(n)$ ) durch lineare Prädiktion zur Bestimmung von Parametern (LPC), welche ein Kurzzeitsynthesefilter (16) definieren,
- Bestimmen von Anregungsparametern ( $k, \beta, LTP$ ), welche ein Anregungssignal ( $\mu(n)$ ) definieren, das zur Erzeugung eines das erste Tonfrequenzsignal repräsentierenden Synthesesignals ( $s(n)$ ) an das Kurzzeitsynthesefilter (16) anzulegen ist, wobei dieses Synthesesignal für mindestens einen nachfolgenden Block das zweite Tonfrequenzsignal bildet, und
- Erzeugen von Quantisierungswerten der Anregungsparameter,

50 **dadurch gekennzeichnet, daß** die Analyse durch lineare Prädiktion ein Vorgang in  $q$  aufeinanderfolgenden Stufen ( $5_p$ ) ist, wobei  $q$  eine ganze Zahl größer als 1 ist, wobei dieser Vorgang in jeder Prädiktionsstufe  $p$  ( $1 \leq p \leq q$ ) die Bestimmung von Parametern umfaßt, welche eine für die jeweilige Stufe  $p$  im voraus festgelegte Zahl  $M_p$  von linearen Prädiktionskoeffizienten  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  eines Eingangssignals der Stufe repräsentieren, wobei das zweite Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) das Eingangssignal ( $s^0(n)$ ) der ersten Stufe bildet und das Eingangssignal ( $s^p(n)$ ) einer Stufe  $p+1$  von dem mittels eines Filters der Übertragungsfunktion

55

$$A^D(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M^D} a_i^D \cdot z^{-i}$$

5

gefilterten Eingangssignal ( $s^{p-1}(n)$ ) der Stufe  $p$  gebildet ist, wobei das Kurzzeitsynthesefilter (16) eine Übertragungsfunktion der Form  $1/A(z)$  mit

10

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^D(z)$$

15

besitzt.

11. Codiervorgang nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl  $M^p$  von linearen Prädiktionskoeffizienten von einer Stufe zur nächsten zunimmt.

20

12. Codiervorgang nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige der Anregungsparameter bestimmt werden, indem die Energie eines Fehlersignals minimiert wird, welches aus der Filterung der Differenz zwischen dem ersten Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) und dem Synthesesignal ( $\hat{s}(n)$ ) mittels mindestens eines Wahrnehmungswichtungsfilters (38) resultiert, dessen Übertragungsfunktion die Form  $W(z) = A(z/\gamma_1)/A(z/\gamma_2)$  besitzt, wobei  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  spektrale Ausdehnungskoeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$  gilt.

25

13. Codiervorgang nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige der Anregungsparameter bestimmt werden, indem die Energie eines Fehlersignals minimiert wird, welches aus der Filterung der Differenz zwischen dem ersten Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) und dem Synthesesignal ( $\hat{s}(n)$ ) mittels mindestens eines Wahrnehmungswichtungsfilters (38) resultiert, dessen Übertragungsfunktion die Form

30

$$W(z) = \prod_{p=1}^q [A^D(z/\gamma_1^p) / A^D(z/\gamma_2^p)]$$

35

besitzt, wobei  $\gamma_1^p, \gamma_2^p$  Paare von spektralen Ausdehnungskoeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \gamma_2^p \leq \gamma_1^p \leq 1$  für  $1 \leq p \leq q$  gilt.

40

14. Verfahren zur Decodierung eines binären Stroms zur Erzeugung eines durch den binären Strom codierten Tonfrequenzsignals in aufeinanderfolgenden Blöcken, **dadurch gekennzeichnet, daß** man:

45

- Quantisierungswerte von Anregungsparametern ( $k, \beta, LTP$ ) erhält,
- auf Grundlage der Quantisierungswerte der Anregungsparameter ein Anregungssignal ( $u(n)$ ) erzeugt,
- durch Filterung des Anregungssignals mittels eines Kurzzeitsynthesefilters (16) ein synthetisiertes Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) erzeugt,
- eine Analyse des synthetisierten Signals ( $\hat{s}(n)$ ) durch lineare Prädiktion vornimmt, um für mindestens einen nachfolgenden Block Koeffizienten des Kurzzeitsynthesefilters (16) zu erhalten,

50

und daß die Analyse durch lineare Prädiktion ein Vorgang in  $q$  aufeinanderfolgenden Stufen ( $5_p$ ) ist, wobei  $q$  eine ganze Zahl größer als 1 ist, wobei dieser Vorgang in jeder Prädiktionsstufe  $p$  ( $1 \leq p \leq q$ ) die Bestimmung von Parametern umfaßt, welche eine für die jeweilige Stufe  $p$  im voraus festgelegte Zahl  $M^p$  von linearen Prädiktionskoeffizienten  $a_1^p, \dots, a_{M^p}^p$  eines Eingangssignals der Stufe repräsentieren, wobei das synthetisierte Signal ( $\hat{s}(n)$ ) das Eingangssignal ( $s^0(n)$ ) der ersten Stufe bildet und das Eingangssignal ( $s^p(n)$ ) einer Stufe  $p+1$  von dem mittels eines Filters der Übertragungsfunktion

55

$$A^D(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_D} a_i^D \cdot z^{-i}$$

5 gefilterten Eingangssignal ( $s^{p-1}(n)$ ) der Stufe  $p$  gebildet ist, wobei das Kurzzeitsynthesefilter (16) eine Übertragungsfunktion der Form  $1/A(z)$  mit

$$10 \quad A(z) = \prod_{p=1}^Q A^D(z)$$

15 besitzt.

15. Decodierverfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das synthetisierte Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) an ein Nachfilter (17) angelegt wird, dessen Übertragungsfunktion ( $H_{PF}(z)$ ) einen Term der Form  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$  umfaßt, wobei  $\beta_1$  und  $\beta_2$  Koeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$  gilt.

20 16. Decodierverfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das synthetisierte Tonfrequenzsignal ( $\hat{s}(n)$ ) an ein Nachfilter (17) angelegt wird, dessen Übertragungsfunktion ( $H_{PF}(z)$ ) einen Term der Form

$$25 \quad \prod_{p=1}^Q [A^D(z/\beta_1^D) / A^D(z/\beta_2^D)]$$

30 umfaßt, wobei  $\beta_1^p, \beta_2^p$  Paare von Koeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \beta_1^p \leq \beta_2^p \leq 1$  für  $1 \leq p \leq q$  gilt.

17. Verfahren zur Codierung eines ersten, in aufeinanderfolgende Blöcke digitalisierten Tonfrequenzsignals, **dadurch gekennzeichnet, daß** es die folgenden Schritte umfaßt:

- 35
- Analysieren des ersten Tonfrequenzsignals ( $s(n)$ ) durch lineare Prädiktion zur Bestimmung von Parametern (LPC/F), welche einen ersten Bestandteil eines Kurzzeitsynthesefilters (16) definieren,
  - Bestimmen von Anregungsparametern ( $k, \beta, LTP$ ), welche ein Anregungssignal ( $\mu(n)$ ) definieren, das zur Erzeugung eines das erste Tonfrequenzsignal repräsentierenden Synthesesignals ( $s(n)$ ) an das Kurzzeitsynthesefilter (16) anzulegen ist,

40

  - Erzeugen von Quantisierungswerten der den ersten Bestandteil des Kurzzeitsynthesefilters definierenden Parameter und der Anregungsparameter,
  - Filtern des Synthesesignals ( $s(n)$ ) mittels eines Filters mit einer Übertragungsfunktion, die der Inversen der Übertragungsfunktion des ersten Bestandteils des Kurzzeitsynthesefilters entspricht, und

45

  - Analysieren des gefilterten Synthesesignals ( $s^0(n)$ ), um für mindestens einen nachfolgenden Block Koeffizienten eines zweiten Bestandteils des Kurzzeitsynthesefilters zu erhalten, und daß die Analyse des ersten Tonfrequenzsignals ( $s(n)$ ) durch lineare Prädiktion ein Vorgang in  $q_F$  aufeinanderfolgenden Stufen ( $5_p$ ) ist, wobei  $q_F$  eine ganze Zahl ist, die zumindest gleich 1 ist, wobei dieser  $q_F$ -stufige Vorgang in jeder Prädiktionsstufe  $p$  ( $1 \leq p \leq q_F$ ) die Bestimmung von Parametern umfaßt, welche eine für die jeweilige Stufe  $p$  im voraus festgelegte Zahl  $M_{Fp}$  von linearen Prädiktionskoeffizienten  $a_1^{F,p}, \dots, a_{M_{Fp}}^{F,p}$  eines Eingangssignals der Stufe repräsentieren, wobei das erste Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) das Eingangssignal ( $s^0(n)$ ) der ersten Stufe des  $q_F$ -stufigen Vorgangs bildet und das Eingangssignal ( $s^p(n)$ ) einer Stufe  $p+1$  des  $q_F$ -stufigen Vorgangs von dem

50

  - mittels eines Filters der Übertragungsfunktion

$$55 \quad A^{F,D}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_{Fp}} a_i^{F,D} \cdot z^{-i}$$

gefilterten Eingangssignal ( $s^{p-1}(n)$ ) der Stufe  $p$  des  $q_F$ -stufigen Vorgangs gebildet ist, wobei der erste Bestandteil des Kurzzeitsynthesefilters (16) eine Übertragungsfunktion der Form  $1/A^F(z)$  mit

5

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z)$$

10

besitzt,

und daß die Analyse des gefilterten Synthesesignals durch lineare Prädiktion ein Vorgang in  $q_B$  aufeinanderfolgenden Stufen ( $5p$ ) ist, wobei  $q_B$  eine ganze Zahl ist, die wenigstens gleich 1 ist, wobei dieser  $q_B$ -stufige Vorgang in jeder Prädiktionsstufe  $p$  ( $1 \leq p \leq q_B$ ) die Bestimmung von Parametern umfaßt, welche eine für die jeweilige Stufe  $p$  im voraus festgelegte Zahl  $MB_p$  von linearen Prädiktionskoeffizienten  $a_1^{B,p}, \dots, a_{MB_p}^{B,p}$  eines Eingangssignals der Stufe repräsentieren, wobei das gefilterte Synthesesignal ( $s^0(n)$ ) das Eingangssignal ( $s^0(n)$ ) der ersten Stufe des  $q_B$ -stufigen Vorgangs bildet und das Eingangssignal ( $s^p(n)$ ) einer Stufe  $p+1$  des  $q_B$ -stufigen Vorgangs von dem mittels eines Filters der Übertragungsfunktion

20

$$A^{B,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MB_p} a_i^{B,p} \cdot z^{-i}$$

25

gefilterten Eingangssignal ( $s^{p-1}(n)$ ) der Stufe  $p$  des  $q_B$ -stufigen Vorgangs gebildet ist, wobei der zweite Bestandteil des Kurzzeitsynthesefilters (16) eine Übertragungsfunktion der Form  $1/A^B(z)$  mit

30

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,p}(z)$$

35

besitzt und das Kurzzeitsynthesefilter (16) eine Übertragungsfunktion der Form  $1/A(z)$  mit  $A(z) = A^F(z) \cdot A^B(z)$  besitzt.

40

18. Codiervorgang nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige der Anregungsparameter bestimmt werden, indem die Energie eines Fehlersignals minimiert wird, welches aus der Filterung der Differenz zwischen dem ersten Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) und dem Synthesesignal ( $s(n)$ ) mittels mindestens eines Wahrnehmungswichtungsfilters (38) resultiert, dessen Übertragungsfunktion die Form  $W(z) = A(z/\gamma_1)/A(z/\gamma_2)$  besitzt, wobei  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  spektrale Ausdehnungskoeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$  gilt.

45

19. Codiervorgang nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige der Anregungsparameter bestimmt werden, indem die Energie eines Fehlersignals minimiert wird, welches aus der Filterung der Differenz zwischen dem ersten Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) und dem Synthesesignal ( $s(n)$ ) mittels mindestens eines Wahrnehmungswichtungsfilters (38) resultiert, dessen Übertragungsfunktion die Form

50

$$W(z) = \left[ \prod_{p=1}^{q_F} \left[ \frac{A^{F,p}(z/\gamma_1^{F,p})}{A^{F,p}(z/\gamma_2^{F,p})} \right] \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} \left[ \frac{A^{B,p}(z/\gamma_1^{B,p})}{A^{B,p}(z/\gamma_2^{B,p})} \right] \right]$$

55

besitzt, wobei  $\gamma_1^{F,p}, \gamma_2^{F,p}$  Paare von spektralen Ausdehnungskoeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \gamma_2^{F,p} \leq \gamma_1^{F,p} \leq 1$  für  $1 \leq p \leq q_F$  gilt, und  $\gamma_1^{B,p}, \gamma_2^{B,p}$  Paare von spektralen Ausdehnungskoeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \gamma_2^{B,p} \leq \gamma_1^{B,p} \leq 1$  für  $1 \leq p \leq q_B$  gilt.

20. Verfahren zur Decodierung eines binären Stroms zur Erzeugung eines durch den binären Strom codierten Ton-

frequenzsignals in aufeinanderfolgenden Blöcken,  
dadurch gekennzeichnet, daß man:

- Quantisierungswerte von Parametern (LPC/F), welche einen ersten Bestandteil eines Kurzzeitsynthesefilters (16) definieren, und von Anregungsparametern ( $k, \beta, \text{LTP}$ ) erhält, wobei die den ersten Bestandteil des Kurzzeitsynthesefilters definierenden Parameter eine Zahl  $q_F$ , die wenigstens gleich 1 ist, von Sätzen von linearen Prädiktionskoeffizienten  $a_{1^{F,p}}, \dots, a_{MFp^{F,p}}$  für  $1 \leq p \leq q_F$  repräsentieren, wobei jeder Satz  $p$  eine im voraus festgelegte Zahl  $MFp$  von Koeffizienten umfaßt, wobei der erste Bestandteil des Kurzzeitsynthesefilters (16) eine Übertragungsfunktion der Form  $1/A^F(z)$  mit

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z) = \prod_{p=1}^{q_F} \left( 1 + \sum_{i=1}^{MFp} a_i^{F,p} \cdot z^{-i} \right)$$

besitzt,

- auf Grundlage der Quantisierungswerte der Anregungsparameter ein Anregungssignal ( $u(n)$ ) erzeugt,
- ein synthetisiertes Tonfrequenzsignal ( $s(n)$ ) erzeugt, indem das Anregungssignal mittels eines Kurzzeitsynthesefilters (16) der Übertragungsfunktion  $1/A(z)$  mit  $A(z) = A^F(z) \cdot A^B(z)$ , gefiltert wird, wobei  $1/A^B(z)$  die Übertragungsfunktion eines zweiten Bestandteils des Kurzzeitsynthesefilters (16) repräsentiert,
- das synthetisierte Signal ( $s(n)$ ) mittels eines Filters der Übertragungsfunktion  $A^F(z)$  filtert und
- eine Analyse des gefilterten synthetisierten Signals ( $s^0(n)$ ) durch lineare Prädiktion durchführt, um für mindestens einen nachfolgenden Block Koeffizienten des zweiten Bestandteils des Kurzzeitsynthesefilters (16) zu erhalten, und daß die Analyse des gefilterten synthetisierten Signals durch lineare Prädiktion ein Vorgang in  $q_B$  aufeinanderfolgenden Stufen ( $5_p$ ) ist, wobei  $q_B$  eine ganze Zahl ist, die wenigstens gleich 1 ist, wobei dieser Vorgang in jeder Prädiktionsstufe  $p$  ( $1 \leq p \leq q_B$ ) die Bestimmung von Parametern umfaßt, welche eine für die jeweilige Stufe  $p$  im voraus festgelegte Zahl  $MBp$  von linearen Prädiktionskoeffizienten  $a_{1^{B,p}}, \dots, a_{MBp^{B,p}}$  eines Eingangssignals der Stufe repräsentieren, wobei das gefilterte synthetisierte Signal ( $s^0(n)$ ) das Eingangssignal ( $s^0(n)$ ) der ersten Stufe bildet und das Eingangssignal ( $s^p(n)$ ) einer Stufe  $p+1$  von dem mittels eines Filters der Übertragungsfunktion

$$A^{B,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MBp} a_i^{B,p} \cdot z^{-i}$$

gefilterten Eingangssignal ( $s^{p-1}(n)$ ) der Stufe  $p$  gebildet ist, wobei der zweite Bestandteil des Kurzzeitsynthesefilters (16) eine Übertragungsfunktion der Form  $1/A^B(z)$  mit

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,p}(z)$$

besitzt.

21. Decodierverfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das synthetisierte Tonfrequenzsignal ( $\hat{s}(n)$ ) an ein Nachfilter (17) angelegt wird, dessen Übertragungsfunktion ( $H_{PF}(z)$ ) einen Term der Form  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$  umfaßt, wobei  $\beta_1$  und  $\beta_2$  Koeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$  gilt.
22. Decodierverfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das synthetisierte Tonfrequenzsignal ( $\hat{s}(n)$ ) an ein Nachfilter (17) angelegt wird, dessen Übertragungsfunktion ( $H_{PF}(z)$ ) einen Term der Form

5

$$\left[ \prod_{p=1}^{q_F} \left[ \frac{A^{F,p}(z/\beta_1^{F,p})}{A^{F,p}(z/\beta_2^{F,p})} \right] \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} \left[ \frac{A^{B,p}(z/\beta_1^{B,p})}{A^{B,p}(z/\beta_2^{B,p})} \right] \right]$$

10

besitzt, wobei  $\beta_1^{F,p}, \beta_2^{F,p}$  Paare von Koeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \beta_1^{F,p} \leq \beta_2^{F,p} \leq 1$  für  $1 \leq p \leq q_F$  gilt, und  $\beta_1^{B,p}, \beta_2^{B,p}$  Paare von Koeffizienten bezeichnen, für die  $0 \leq \beta_1^{B,p} \leq \beta_2^{B,p} \leq 1$  für  $1 \leq p \leq q_B$  gilt.

**Claims**

15

1. Method for linear predictive analysis of order M of an audiofrequency signal ( $s^0(n)$ ), in order to determine spectral parameters dependent on a short-term spectrum of the audiofrequency signal, characterized in that the method is divided into q successive prediction stages ( $5_p$ ), q being an integer greater than 1, and in that, at each prediction stage p ( $1 \leq p \leq q$ ), parameters are determined representing a number  $M_p$ , predefined for each stage p, of linear prediction coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  of an input signal of

20

said stage, the audiofrequency signal to be analysed constituting the input signal ( $s^0(n)$ ) of the first stage, and the input signal ( $s^p(n)$ ) of a stage p+1 consisting of the input signal ( $s^{p-1}(n)$ ) of the stage p filtered by a filter with transfer function

25

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i}.$$

30

wherein in the prediction order M is such that

35

$$M = \sum_{p=1}^q M_p.$$

40

2. Analysis method according to Claim 1, characterized in that the number  $M_p$  of linear prediction coefficients increases from one stage to the next.

45

3. Method for coding an audiofrequency signal, comprising the following steps:

- linear predictive analysis of the audiofrequency signal ( $s(n)$ ) digitized in successive frames in order to determine parameters (LPC) defining a short-term synthesis filter (16);
- determination of excitation parameters ( $k, \beta, LTP$ ) defining an excitation signal ( $u(n)$ ) to be applied to the short-term synthesis filter (16) in order to produce a synthetic signal ( $s(n)$ ) representing the audiofrequency signal; and
- production of quantization values of the parameters defining the short-term synthesis filter and of the excitation parameters,

50

characterized in that the linear predictive analysis is a process with q successive stages ( $5_p$ ), q being an integer greater than 1, said process including, at each prediction stage p ( $1 \leq p \leq q$ ), determination of parameters representing a number  $M_p$ , predefined for each stage p, of linear prediction coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  of an input signal of said stage, the audiofrequency signal ( $s(n)$ ) to be coded constituting the input signal ( $s^0(n)$ ) of the first stage, and the input signal ( $s^p(n)$ ) of a stage p + 1 consisting of the input signal ( $s^{p-1}(n)$ ) of the stage p filtered by a filter with transfer function

55

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i},$$

5

the short-term synthesis filter (16) having a transfer function of the form  $1/A(z)$  with

10

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z)$$

15

4. Coding method according to Claim 3, characterized in that the number  $M_p$  of linear prediction coefficients increases from one stage to the next.

5. Coding method according to Claim 3 or 4, characterized in that at least some of the excitation parameters are determined by minimizing the energy of an error signal  $\lambda$  resulting from the filtering of the difference between the audiofrequency signal  $s(n)$  and the synthetic signal  $\hat{s}(n)$  by at least one-perceptual weighting filter (38) whose transfer function is of the form  $W(z)=A(z/\gamma_1)/A(z/\gamma_2)$  where  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  denote spectral expansion coefficients such that  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$ .

20

6. Coding method according to Claim 3 or 4, characterized in that at least some of the excitation parameters are determined by minimizing the energy of an error signal  $\lambda$  resulting from the filtering of the difference between the audiofrequency signal  $s(n)$  and the synthetic signal  $\hat{s}(n)$  by at least one perceptual weighting filter (38) whose transfer function is of the form

25

$$W(z) = \prod_{p=1}^q [A^p(z/\gamma_1^p) / A^p(z/\gamma_2^p)],$$

30

where  $\gamma_1^p, \gamma_2^p$  denote pairs of spectral expansion coefficients such that  $0 \leq \gamma_2^p \leq \gamma_1^p \leq 1$  for  $1 \leq p \leq q$ .

35

7. Method for decoding a bit stream in order to construct an audiofrequency signal coded by said bit stream, characterized in that:

- quantization values of parameters (LPC) defining a short-term synthesis filter (16), and excitation parameters (k,  $\beta$ , LTP) are received, the parameters defining the synthesis filter defining a number q greater than 1 of sets of linear prediction coefficients ( $a^p$ ), each set p including a predefined number  $M_p$  of coefficients;
- an excitation signal  $u(n)$  is produced on the basis of the quantization values of the excitation parameters; and
- a synthetic audiofrequency signal  $\hat{s}(n)$  is produced by filtering the excitation filter with a synthesis filter (16) having a transfer function of the form  $1/A(z)$  with

45

$$A(z) = \prod_{p=1}^q \left( 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i} \right)$$

50

where the coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  correspond to the p-th set of linear prediction coefficients for  $1 \leq p \leq q$ .

8. Decoding method according to Claim 7, characterized in that said synthetic audiofrequency signal  $\hat{s}(n)$  is applied to a postfilter (17) whose transfer function ( $H_{PF}(z)$ ) includes a term of the form  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$ , where  $\beta_1$  and  $\beta_2$  denote coefficients such that  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ .

55

9. Decoding method according to Claim 7, characterized in that said synthetic audiofrequency signal  $\hat{s}(n)$  is applied

to a postfilter (17) whose transfer function ( $H_{PF}(z)$ ) includes a term of the form

$$\prod_{p=1}^q \{A^p(z/\beta_1^p) / A^p(z/\beta_2^p)\},$$

where  $\beta_1^p, \beta_2^p$  denote pairs of coefficients such that  $0 \leq \beta_1^p \leq \beta_2^p \leq 1$  for  $1 \leq p \leq q$ , and  $A^p(z)$  represents, for the p-th set of linear prediction coefficients, the function

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i}$$

10. Method for coding a first audiofrequency signal digitized in successive frames, comprising the following steps:

- linear predictive analysis of a second audiofrequency signal ( $\hat{s}(n)$ ) in order to determine parameters (LPC) defining a short-term synthesis filter (16);
- determination of excitation parameters ( $k, \beta, LTP$ ) defining an excitation signal ( $u(n)$ ) to be applied to the short-term synthesis filter (16) in order to produce a synthetic signal ( $s(n)$ ) representing the first audiofrequency signal, this synthetic signal constituting

said second audiofrequency signal for at least one subsequent frame; and

- production of quantization values of the excitation parameters,

characterized in that the linear predictive analysis is a process with  $q$  successive stages ( $S_p$ ),  $q$  being an integer greater than 1, said process including, at each prediction stage  $p$  ( $1 \leq p \leq q$ ), determination of parameters representing a number  $M_p$ , predefined for each stage  $p$ , of linear prediction coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  of an input signal of said stage, the second audiofrequency signal ( $s(n)$ ) constituting the input signal ( $s^0(n)$ ) of the first stage, and the input signal ( $s^p(n)$ ) of a stage  $p + 1$  consisting of the input signal ( $s^{p-1}(n)$ ) of the stage  $p$  filtered by a filter with transfer function

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i},$$

the short-term synthesis filter (16) having a transfer function of the form  $1/A(z)$  with

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z)$$

11. Coding method according to Claim 10, characterized in that the number  $M_p$  of linear prediction coefficients increases from one stage to the next.

12. Coding method according to Claim 10 or 11, characterized in that at least some of the excitation parameters are determined by minimizing the energy of an error signal resulting from the filtering of the difference between the first audiofrequency signal ( $s(n)$ ) and the synthetic signal ( $\hat{s}(n)$ ) by at least one perceptual weighting filter (38) whose transfer function is of the form  $W(z) = A(z/\gamma_1) / A(z/\gamma_2)$  where  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  denote spectral expansion coefficients

such that  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$ .

13. Coding method according to Claim 10 or 11, characterized in that at least some of the excitation parameters are determined by minimizing the energy of an error signal resulting from the filtering of the difference between the first audiofrequency signal  $(s(n))$  and the synthetic signal  $(\hat{s}(n))$  by at least one perceptual weighting filter (38) whose transfer function is of the form

$$W(z) = \prod_{p=1}^q \{A^p(z/\gamma_1^p) / A^p(z/\gamma_2^p)\},$$

where  $\gamma_1^p, \gamma_2^p$  denote pairs of spectral expansion coefficients such that  $0 \leq \gamma_2^p \leq \gamma_1^p \leq 1$  for  $1 \leq p \leq q$ .

14. Method for decoding a bit stream in order to construct in successive frames an audiofrequency signal coded by said bit stream, characterized in that:

- quantization values of excitation parameters ( $k, \beta, LTP$ ) are received;
- an excitation signal  $(u(n))$  is produced on the basis of the quantization values of the excitation parameters;
- a synthetic audiofrequency signal  $(\hat{s}(n))$  is produced by filtering the excitation signal with a short-term synthesis filter (16);
- linear predictive analysis of the synthetic signal  $(\hat{s}(n))$  is carried out in order to obtain coefficients of the short-term synthesis filter (16) for at least one subsequent frame,

and in that the linear predictive analysis is a process with  $q$  successive stages ( $5_p$ ),  $q$  being an integer greater than 1, said process including, at each prediction stage  $p$  ( $1 \leq p \leq q$ ), determination of parameters representing a number  $M_p$ , predefined for each stage  $p$ , of linear prediction coefficients  $a_1^p, \dots, a_{M_p}^p$  of an input signal of said stage, the synthetic signal  $(\hat{s}(n))$  constituting the input signal  $(s^0(n))$  of the first stage, and the input signal  $(s^p(n))$  of a stage  $p + 1$  consisting of the input signal  $(s^{p-1}(n))$  of the stage  $p$  filtered by a filter with transfer function

$$A^p(z) = 1 + \sum_{i=1}^{M_p} a_i^p \cdot z^{-i},$$

the short-term synthesis filter (16) having a transfer function of the form  $1/A(z)$  with

$$A(z) = \prod_{p=1}^q A^p(z)$$

15. Decoding method according to Claim 14, characterized in that said synthetic audiofrequency signal  $(\hat{s}(n))$  is applied to a postfilter (17) whose transfer function  $(H_{PF}(z))$  includes a term of the form  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$ , where  $\beta_1$  and  $\beta_2$  denote coefficients such that  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ .

16. Decoding method according to Claim 14, characterized in that said synthetic audiofrequency signal  $(\hat{s}(n))$  is applied to a postfilter (17) whose transfer function  $(H_{PF}(z))$  includes a term of the form

$$\prod_{p=1}^q [A^p(z/\beta_1^p) / A^p(z/\beta_2^p)],$$

where  $\beta_1^p, \beta_2^p$  denote pairs of coefficients such that  $0 \leq \beta_1^p \leq \beta_2^p \leq 1$  for  $1 \leq p \leq q$ .

17. Method for coding a first audiofrequency signal digitized in successive frames, characterized in that it comprises the following steps:

- linear predictive analysis of the first audiofrequency signal (s(n)) in order to determine parameters (LPC/F) defining a first component of a short-term synthesis filter (16);
- determination of excitation parameters (k, β, LTP) defining an excitation signal (u(n)) to be applied to the short-term synthesis filter (16) in order to produce a synthetic signal (s(n)) representing the first audiofrequency signal;
- production of quantization values of the parameters defining the first component of the short-term synthesis filter and of the excitation parameters;
- filtering of the synthetic signal (s(n)) with a filter with transfer function corresponding to the inverse of the transfer function of the first component of the short-term synthesis filter; and
- linear predictive analysis of the filtered synthetic signal ((s<sup>0</sup>(n))) in order to obtain coefficients of a second component of the short-term synthesis filter for at least one subsequent frame,

and in that the linear predictive analysis of the first audiofrequency signal (s(n)) is a process with q<sub>F</sub> successive stages (5<sub>p</sub>), q<sub>F</sub> being an integer at least equal to 1, said process with q<sub>F</sub> stages including, at each prediction stage p (1 ≤ p ≤ q<sub>F</sub>), determination of parameters representing a number MF<sub>p</sub>, predefined for each stage p, of linear prediction coefficients a<sub>1</sub><sup>F,p</sup>, ..., a<sub>MF<sub>p</sub></sub><sup>F,p</sup> of an input signal of said stage, the first audiofrequency signal (s(n)) constituting the input signal (s<sup>0</sup>(n)) of the first stage of the process with q<sub>F</sub> stages, and the input signal (s<sup>p</sup>(n)) of a stage p + 1 of the process with q<sub>F</sub> stages consisting of the input signal (s<sup>p-1</sup>(n)) of the stage p of the process with q<sub>F</sub> stages filtered by a filter with transfer function

$$A^{F,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MF_p} a_i^{F,p} \cdot z^{-i},$$

the first component of the short-term synthesis filter (16) having a transfer function of the form 1/A<sup>F</sup>(z) with

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z),$$

and in that the linear predictive analysis of the filtered synthetic signal is a process with q<sub>B</sub> successive stages (5<sub>p</sub>), q<sub>B</sub> being an integer at least equal to 1, said process with q<sub>B</sub> stages including, at each prediction stage p (1 ≤ p ≤ q<sub>B</sub>), determination of parameters representing a number MB<sub>p</sub>, predefined for each stage p, of linear prediction coefficients a<sub>1</sub><sup>B,p</sup>, ..., a<sub>MB<sub>p</sub></sub><sup>B,p</sup> of an input signal of said stage, the filtered synthetic signal (s<sup>0</sup>(n)) constituting the input signal (s<sup>0</sup>(n)) of the first stage of the process with q<sub>B</sub> stages, and the input signal (s<sup>p</sup>(n)) of a stage p + 1 of the process with q<sub>B</sub> stages consisting of the input signal (s<sup>p-1</sup>(n)) of the stage p of the process with q<sub>B</sub> stages filtered by a filter with transfer function

$$A^{B,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MB_p} a_i^{B,p} \cdot z^{-i},$$

the second component of the short-term synthesis filter (16) having a transfer function of the form 1/A<sup>B</sup>(z) with

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,p}(z),$$

and the short-term synthesis filter (16) having a transfer function of the form  $1/A(z)$  with  $A(z)=A^F(z).A^B(z)$ .

18. Coding method according to Claim 17, characterized in that at least some of the excitation parameters are determined by minimizing the energy of an error signal resulting from the filtering of the difference between the first audiofrequency signal ( $s(n)$ ) and the synthetic signal ( $s(n)$ ) by at least one perceptual weighting filter (38) whose transfer function is of the form  $W(z)=A(z/\gamma_1)/A(z/\gamma_2)$  where  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  denote spectral expansion coefficients such that  $0 \leq \gamma_2 \leq \gamma_1 \leq 1$ .

19. Coding method according to Claim 17, characterized in that at least some of the excitation parameters are determined by minimizing the energy of an error signal resulting from the filtering of the difference between the first audiofrequency signal ( $s(n)$ ) and the synthetic signal ( $s(n)$ ) by at least one perceptual weighting filter (38) whose transfer function is of the form

$$W(z) = \left[ \prod_{p=1}^{q_F} \left[ \frac{A^{F,p}(z/\gamma_1^{F,p})}{A^{F,p}(z/\gamma_2^{F,p})} \right] \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} \left[ \frac{A^{B,p}(z/\gamma_1^{B,p})}{A^{B,p}(z/\gamma_2^{B,p})} \right] \right]$$

where  $\gamma_1^{F,p}, \gamma_2^{F,p}$  denote pairs of spectral expansion coefficients such that  $0 \leq \gamma_2^{F,p} \leq \gamma_1^{F,p} \leq 1$  for  $1 \leq p \leq q_F$ , and  $\gamma_1^{B,p}, \gamma_2^{B,p}$  denote pairs of spectral expansion coefficients such that  $0 \leq \gamma_2^{B,p} \leq \gamma_1^{B,p} \leq 1$  for  $1 \leq p \leq q_B$ .

20. Method for decoding a bit stream in order to construct in successive frames an audiofrequency signal coded by said bit stream, characterized in that:

- quantization values of parameters (LPC/F) defining a first component of a short-term synthesis filter (16) and excitation parameters ( $k, \beta, LTP$ ) are received, the parameters defining the first component of the short-term synthesis filter representing a number  $q_F$  at least equal to 1 of sets of linear prediction coefficients  $a_1^{F,p}, \dots, a_{MFP}^{F,p}$  for  $1 \leq p \leq q_F$ , each set  $p$  including a predefined number  $MFP$  of coefficients, the first component of the short-term synthesis filter (16) having a transfer function of the form  $1/A^F(z)$  with

$$A^F(z) = \prod_{p=1}^{q_F} A^{F,p}(z) = \prod_{p=1}^{q_F} \left( 1 + \sum_{i=1}^{MFP} a_i^{F,p} \cdot z^{-i} \right) ;$$

- an excitation signal ( $u(n)$ ) is produced on the basis of the quantization values of the excitation parameters;
- a synthetic audiofrequency signal ( $s(n)$ ) is produced by filtering the excitation signal with a short-term synthesis filter (16) with transfer function  $1/A(z)$  with  $A(z)=A^F(z).A^B(z)$ ,  $1/A^B(z)$  representing the transfer function of a second component of the short-term synthesis filter (16);
- the synthetic signal ( $s(n)$ ) is filtered with a filter with transfer function  $A^F(z)$ ; and
- a linear predictive analysis of the filtered synthetic signal ( $s^0(n)$ ) is carried out in order to obtain coefficients of the second component of the short-term synthesis filter (16) for at least one subsequent frame,

and in that the linear predictive analysis of the filtered synthetic signal is a process with  $q_B$  successive stages ( $5_p$ ),  $q_B$  being an integer at least equal to 1,

said process including, at each prediction stage  $p$  ( $1 \leq p \leq q_B$ ), determination of parameters representing a number  $MB_p$ , predefined for each stage  $p$ , of linear prediction coefficients  $a_1^{B,p}, \dots, a_{MB_p}^{B,p}$  of an input signal of said stage, the filtered synthetic signal ( $s^0(n)$ ) constituting the input signal ( $s^0(n)$ ) of the first stage, and the input signal ( $s^p(n)$ ) of a stage  $p + 1$  consisting of the input signal ( $s^{p-1}(n)$ ) of the stage  $p$  filtered by a filter with transfer function

$$A^{B,p}(z) = 1 + \sum_{i=1}^{MBP} a_i^{B,p} \cdot z^{-i},$$

5

the second component of the short-term synthesis filter (16) having a transfer function of the form  $1/A^B(z)$  with

10

$$A^B(z) = \prod_{p=1}^{q_B} A^{B,p}(z)$$

15 **21.** Decoding method according to Claim 20, characterized in that said synthetic audiofrequency signal  $\hat{s}(n)$  is applied to a postfilter (17) whose transfer function ( $H_{pF}(z)$ ) includes a term of the form  $A(z/\beta_1)/A(z/\beta_2)$ , where  $\beta_1$  and  $\beta_2$  denote coefficients such that  $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ .

20 **22.** Decoding method according to Claim 20, characterized in that said synthetic audiofrequency signal  $\hat{s}(n)$  is applied to a postfilter (17) whose transfer function ( $H_{pF}(z)$ ) includes a term of the form

25

$$\left[ \prod_{p=1}^{q_F} \left[ \frac{A^{F,p}(z/\beta_1^{F,p})}{A^{F,p}(z/\beta_2^{F,p})} \right] \right] \cdot \left[ \prod_{p=1}^{q_B} \left[ \frac{A^{B,p}(z/\beta_1^{B,p})}{A^{B,p}(z/\beta_2^{B,p})} \right] \right]$$

30 where  $\beta_1^{F,p}, \beta_2^{F,p}$  denote pairs of coefficients such that  $0 \leq \beta_1^{F,p} \leq \beta_2^{F,p} \leq 1$  for  $1 \leq p \leq q_F$ , and  $\beta_1^{B,p}, \beta_2^{B,p}$  denote pairs of coefficients such that  $0 \leq \beta_1^{B,p} \leq \beta_2^{B,p} \leq 1$  for  $1 \leq p \leq q_B$ .

35

40

45

50

55

FIG. 1

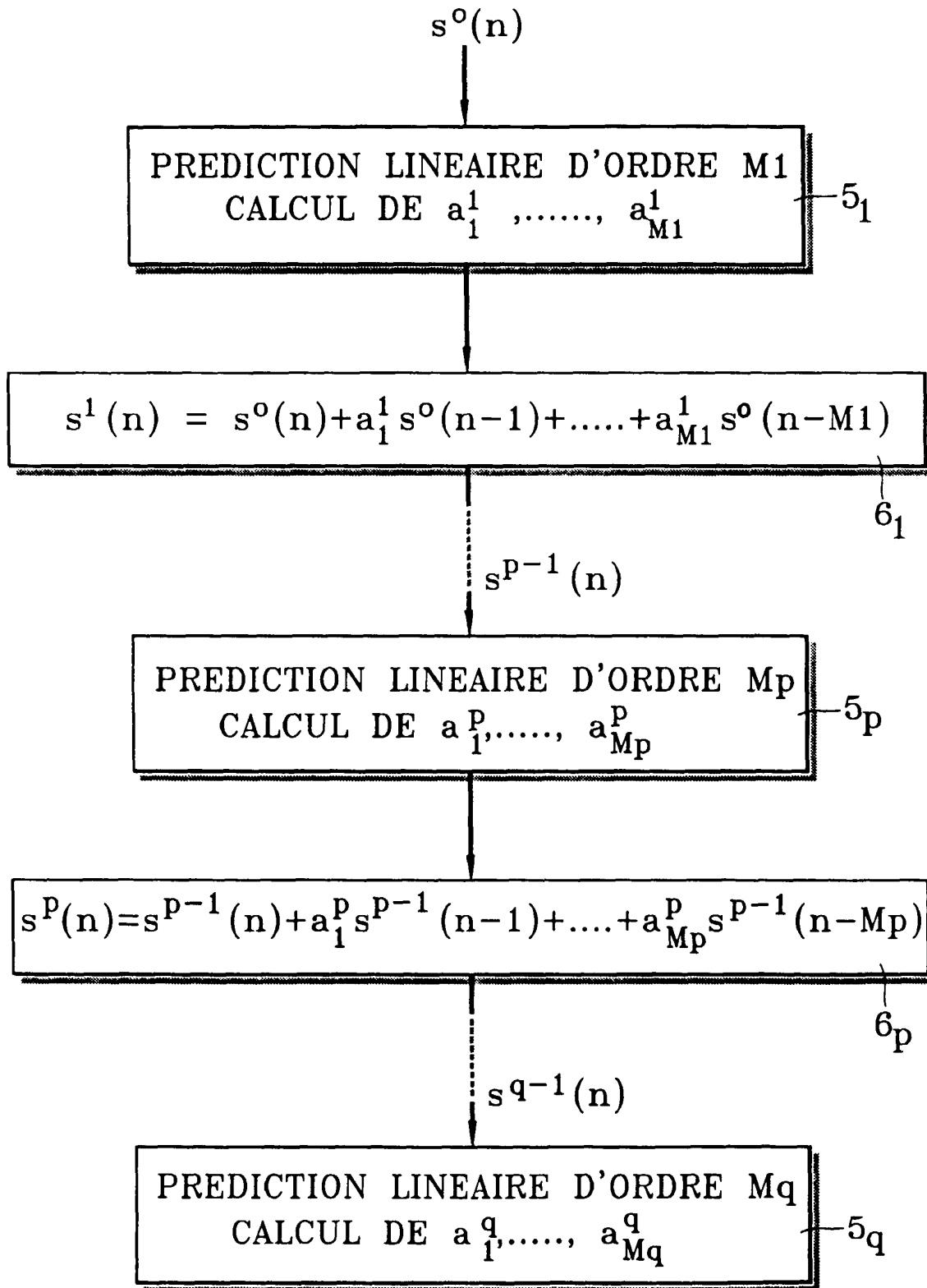


FIG. 2

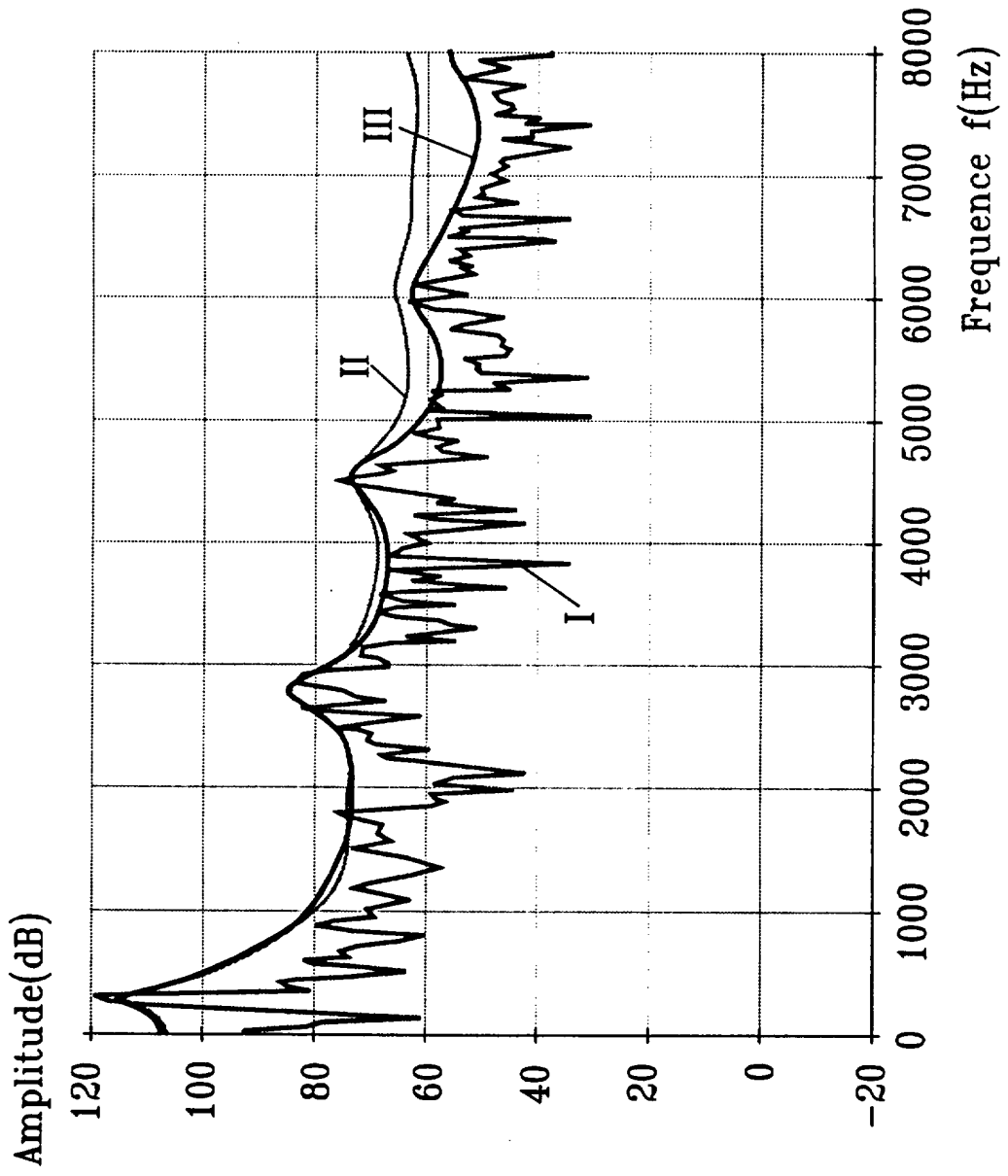


FIG. 3

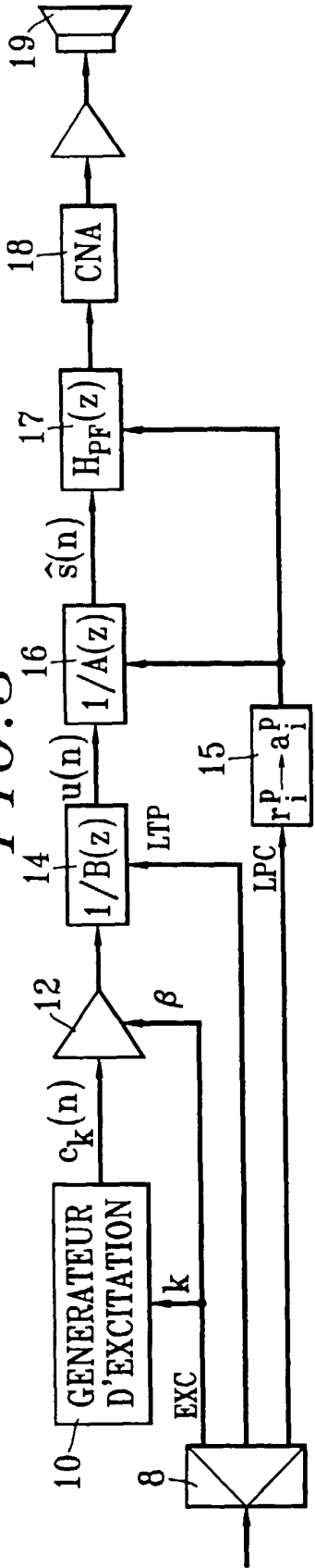


FIG. 4

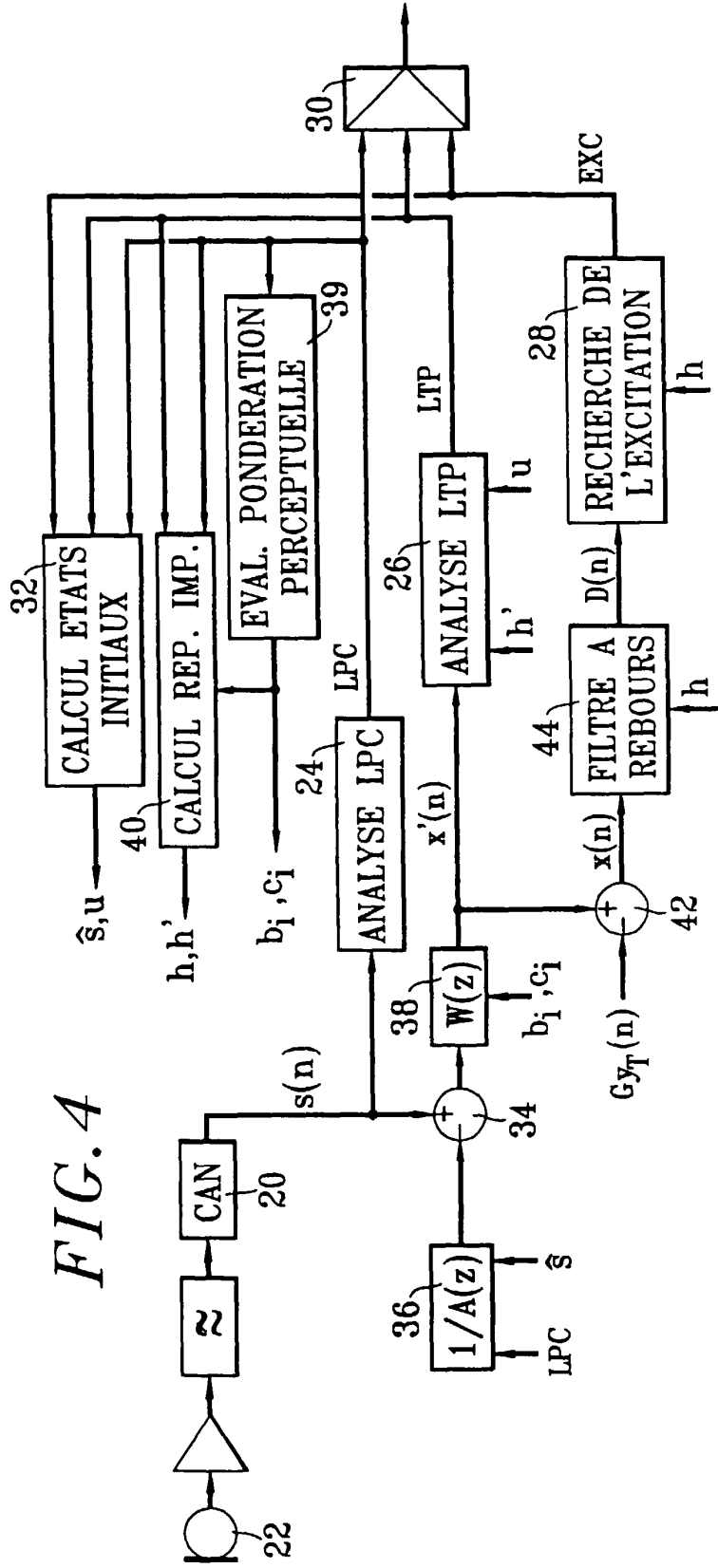


FIG. 5

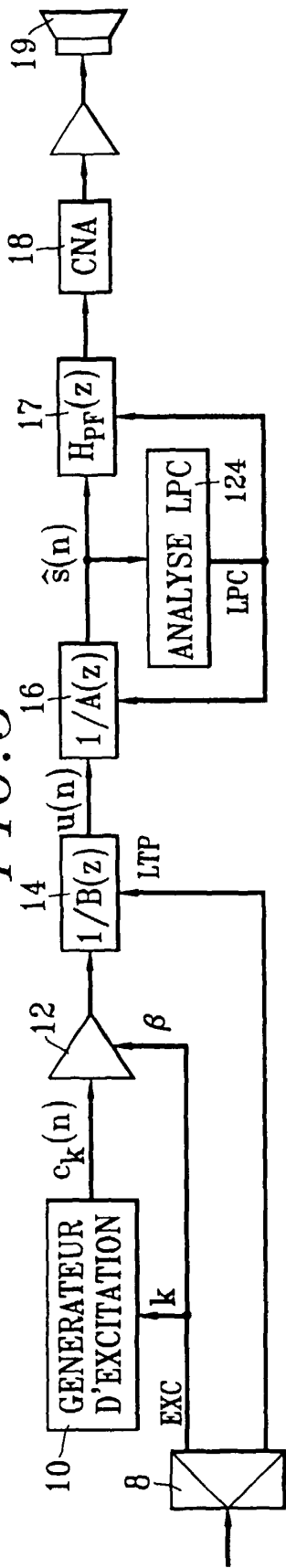


FIG. 6

