

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
 PARIS

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

2 683 689

(21) N° d'enregistrement national : 91 13809

(51) Int Cl⁵ : H 04 L 27/00, 5/22, H 04 B 7/005

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 08.11.91.

(71) Demandeur(s) : THOMSON-CSF — FR.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : 14.05.93 Bulletin 93/19.

(72) Inventeur(s) : Rault Jean-Bernard, Fouche Yvon, Boyer Robert et Tourtier Philippe.

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

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

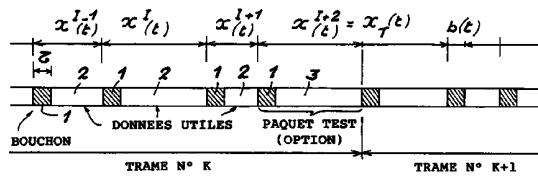
(73) Titulaire(s) :

(54) Procédé d'égalisation fréquentielle d'un canal de transmission numérique et émetteur et récepteur pour la mise en œuvre du procédé.

(57) L'invention concerne un procédé d'égalisation fréquentielle d'un canal de transmission numérique d'un signal $x(t)$ modulé en amplitude et/ou en phase entre un émetteur et un récepteur, caractérisé en ce que :

- le signal $x(t)$ est émis sous forme de paquets temporels (2) de durées finies connues du récepteur avec, entre chaque paquet, insertion d'un signal de référence (1) de durée fixe,

- à la réception, on se base sur les signaux de référence reçus, on estime la réponse en fréquence du canal par comparaison entre le spectre d'au moins le signal de référence reçu et le spectre d'au moins le signal de référence émis connu du récepteur, puis on réalise l'égalisation du canal par déconvolution fréquentielle.



FR 2 683 689 - A1



PROCEDE D'EGALISATION FREQUENTIELLE D'UN CANAL DE
TRANSMISSION NUMERIQUE ET EMETTEUR ET RECEPTEUR
POUR LA MISE EN OEUVRE DU PROCEDE

La présente invention concerne un procédé d'égalisation fréquentielle d'un canal de transmission numérique d'un signal modulé en amplitude et/ou en phase entre un émetteur et un récepteur. Elle concerne aussi l'émetteur et le récepteur pour la mise en oeuvre dudit procédé.

Dans les systèmes de transmission et de modulation numériques classiques, on utilise des égaliseurs adaptatifs pour lutter contre les dégradations dues au canal de transmission qui n'est jamais complètement transparent. En effet, un canal de transmission présente un certain nombre d'inconvénients tels que la propagation d'échos multiples ou similaires. Les égaliseurs actuellement utilisés sont réalisés sous forme de filtres linéaires, récursifs ou non, dont les coefficients sont réactualisés au rythme de la fréquence de modulation en utilisant des algorithmes plus ou moins complexes comme celui du gradient. En général, le nombre de coefficients de ces filtres croît avec la complexité du canal que l'on cherche à égaliser et, lorsque des multi-trajets sont présents, avec la longueur maximale des retards à compenser.

La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients en proposant un nouveau procédé d'égalisation qui fonctionne de manière fréquentielle.

Ainsi, la présente invention a pour objet un procédé d'égalisation fréquentielle d'un canal de transmission numérique d'un signal $x(t)$ modulé en amplitude et/ou en phase entre un émetteur et un récepteur, caractérisé en ce que :

- le signal $x(t)$ est émis sous forme de paquets temporels de durées finies connues du récepteur avec, entre chaque paquet, insertion d'un signal de référence de durée fixe ;
- à la réception, on secale sur les signaux de référence reçus,

on estime la réponse en fréquence du canal par comparaison entre le spectre d'au moins le signal de référence reçu et le spectre d'au moins le signal de référence émis connu du récepteur, puis on réalise l'égalisation du canal par déconvolution fréquentielle.

5 Selon un mode de réalisation préférentiel, les paquets temporels ont une durée fixe. Toutefois, les paquets temporels peuvent aussi avoir des durées variables.

10 D'autre part, le signal de référence a une durée permettant d'absorber la mémoire du canal. Par mémoire du canal, on entend la prise en compte des caractéristiques temporelles du canal telles que les multi-trajets, l'interférence inter-symbole, les filtres, etc...

15 Selon une caractéristique supplémentaire de la présente invention, le signal émis comporte périodiquement des paquets-test connus du récepteur. De préférence, ces paquets-test sont constitués par un paquet temporel spécifique associé à un signal de référence. Dans ce cas, le signal reçu est découpé en trame, chaque trame étant composé d'un nombre entier de paquets associés 20 à un signal de référence et incluant un paquet-test.

25 Selon une variante de réalisation du procédé de la présente invention, le calcul de la réponse en fréquence du canal est réalisé en utilisant les paquets-test. Dans ce cas, le calcul de la réponse en fréquence du canal est réalisé moins souvent. Toutefois, comme le paquet-test a une durée plus longue que le signal de référence, ceci permet d'obtenir une meilleure résolution fréquentielle à l'instant où se fait le calcul.

30 Selon un mode de réalisation préférentiel, le câlage sur les signaux de référence ou les paquets-test reçus est obtenu en effectuant une corrélation entre le signal reçu et le signal de référence ou le paquet-test émis.

Pour la mise en œuvre du procédé décrit ci-dessus, la présente invention concerne aussi un émetteur caractérisé en ce qu'il comporte après le circuit de codage numérique, des moyens pour découper le signal numérique à émettre en paquets et pour

insérer entre chaque paquet des données de référence, les paquets ainsi obtenus étant envoyés sur un convertisseur numérique-analogique.

5 Selon une autre caractéristique de la présente invention, cet émetteur peut comporter de plus des moyens pour réaliser, avec des données-test et les données de référence, des paquets-test qui sont insérés périodiquement dans les paquets formant le signal émis.

10 De même, la présente invention a aussi pour objet un récepteur, caractérisé en ce qu'il comporte après le convertisseur analogique-numérique, un circuit de découpe en paquets, un circuit de calcul de Transformée de Fourier rapide commuté sélectivement soit vers un circuit de calcul des coefficients de correction, soit vers un circuit d'égalisation, 15 un circuit de calcul de Transformée de Fourier inverse et un circuit permettant d'extraire les données utiles.

20 D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description faite ci-après d'un mode de réalisation préférentiel de la présente invention, cette description étant faite avec référence aux dessins ci-annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique de la découpe en paquets du signal à émettre ;
- la figure 2 est un circuit permettant de réaliser le calage sur le signal de référence en utilisant une corrélation ;
- la figure 3 est une courbe représentant la corrélation entre le signal reçu et le signal de référence émis ;
- la figure 4 est un schéma d'un émetteur pour la mise en oeuvre du procédé conforme à la présente invention, et
- 25 - la figure 5 est un schéma d'une partie d'un récepteur pour la mise en oeuvre du procédé de la présente invention.

30 Conformément à la présente invention, on cherche à estimer la réponse en fréquence du canal de transmission et à la compenser par déconvolution fréquentielle. Ainsi, soit $x(t)$ le signal émis et $h(t)$ la réponse impulsionnelle du canal de

transmission, on peut écrire en appelant :

$x'(t)$ le signal reçu

$$x'(t) = x(t) * h(t)$$

ce qui dans le domaine fréquentiel donne :

5 $X'(f) = X(f) \cdot H(f)$ avec $X(f) = T.F.(x(t))$

$H(f) = T.F.(h(t))$ réponse en fréquence
du canal

$$X'(f) = T.F.(x'(t))$$

où $T.F.$ représente la Transformée de Fourier

10 Si on est capable de calculer une estimée de la réponse en fréquence du canal, soit $\hat{H}(f)$, alors on peut calculer :

$\hat{X}(f) = X'(f) / \hat{H}(f)$ signal reçu égalisé en fréquence

$\hat{x}(t) = T.F^{-1}(\hat{X}(f))$ signal égalisé temporel

15

20

25

30

Pour réaliser ce type de calcul et conformément à la présente invention, le signal $x(t)$ est émis sous forme de paquets temporels de durées finies fixes ou variables, ces durées étant connues du récepteur pour réaliser la synchronisation. Ainsi, comme représenté sur la figure 1, le signal $x(t)$ est divisé en signal $x^{I-1}(t)$, $x^I(t)$, $x^{I+1}(t)$, $x^{I+2}(t)$, etc... D'autre part, conformément à la présente invention, on insère entre chaque paquet 2 référencé "données utiles" sur la figure 1, un signal de référence 1 de durée fixe appelé "bouchon" chargé d'absorber la mémoire du canal. En fait, ce signal de référence de durée fixe est tel que sa durée doit prendre en compte les caractéristiques du canal telles que les multi-trajets, l'interférence entre symboles, les filtres, etc ... On obtient donc en numérique, un signal constitué du bouchon 1 suivi des données utiles 2 qui peuvent être de même durée ou avoir des durées variables, comme représenté sur la figure 1.

Selon une variante du procédé conforme à la présente invention, on peut aussi prévoir l'émission d'un ensemble spécifique constitué d'un bouchon 1 associé à des données-test 3,

5 cet ensemble appelé paquets-test présente une durée fixe, il est connu du récepteur et il est envoyé périodiquement. Ainsi, le signal émis peut-il être découpé en trame telle que la trame K ou la trame K+1 sur la figure 1, chaque trame étant composée d'un nombre entier de paquets associés chacun à un bouchon avec un paquet-test connu du récepteur.

10 En fait, l'égalisation du canal sera effectuée de manière différente si l'émission est réalisée sans paquet-test ou avec un paquet-test.

15 10 Dans le premier cas, le calcul de la réponse en fréquence du canal se fait grâce aux signaux de référence ou bouchons. En réception, on se cale sur les bouchons reçus et on réalise le calcul du spectre d'un bouchon perturbé par le canal que l'on compare au calcul du spectre d'un bouchon non perturbé comme expliqué ci-après. L'égalisation est donc réalisée en effectuant les calculs suivants :

15 B'(f) = T.F(b'(t)) où b'(t) est un bouchon perturbé par le canal $\hat{H}(f) = B'(f)/B(f)$ où B(f) = T.F(b(t)) spectre d'un bouchon non perturbé.

20 20 Pour le signal utile qui suit ce bouchon, on calculera :

$$X'^I(f) = T.F(x'^I(t))$$

$$\hat{X}^I(f) = X'^I(f) \times 1/\hat{H}(f)$$

25 $\hat{x}^I(t) = T.F^{-1}(X^I(f))$ où $T.F^{-1}$ égale la transformée de Fourier inverse.

25 30 Dans le cas d'une émission avec paquet-test, de préférence on se cale au récepteur sur les bouchons puis, pour chaque trame, sur les paquets-test. Soit x'_T un paquet-test perturbé par le canal de transmission, on calculera alors la réponse en fréquence estimée du canal en utilisant ce paquet-test. Ce calcul est ainsi

$$X'_T(f) = T.F(x'_T(t))$$

$$\hat{H}(f) = X'_T(f)/X_T(f) \text{ où } X_T(f) = T.F(x_T(t))$$

30 Les signaux utiles émis entre deux paquets-test peuvent alors être égalisés par les équations suivantes dans lesquelles T.F et $T.F^{-1}$ représentent respectivement la transformée de Fourier et la transformée de Fourier inverse.

$$\begin{aligned}
 X'{}^I(f) &= T.F(x'{}^I(t)) \\
 \hat{X}^I(f) &= X'{}^I(f) / \hat{H}(f) \\
 \hat{x}^I(t) &= T.F^{-1}(\hat{X}^I(f))
 \end{aligned}$$

5 L'opération peut être répétée à chaque paquet-test. Dans ce cas, on réalise l'égalisation du canal en utilisant uniquement les paquets-test et non plus les bouchons comme précédemment. L'introduction d'un paquet-test de durée plus longue permet d'avoir une meilleure résolution fréquentielle à l'instant où se fait le calcul. Toutefois, le calcul de la réponse en fréquence qui se fait moins souvent est plus sensible à la non stationnarité du canal.

10 15 Dans tous les cas l'égalisation est faite par déconvolution fréquentielle par l'intermédiaire des transformées de Fourier comme mentionné ci-dessus.

20 25 Pour illustrer plus précisément le procédé d'égalisation fréquentielle d'un canal de transmission numérique conforme à la présente invention, on décrira ci-après l'application de ce procédé à un signal numérique modulé selon une modulation de type MAQ-n, à savoir une modulation d'amplitude à N états. Dans ce cas, le signal numérique à transmettre $x(n)$ représente de façon bi-univoque les points d'une constellation à deux dimensions et à n points. Pour chaque point de la constellation, on transmet ses deux coordonnées sous forme d'un nombre complexe $x(n) = a_n + jb_n$ sur deux porteuses en quadrature au rythme d'une donnée toutes les T secondes. Dans ce cas, les données numériques $x(n)$ à transmettre sont transformées, au niveau de l'émetteur, en un signal analogique $x(t)$ par un convertisseur numérique-analogique puis, après mise en forme dans un filtre, elles sont transmises dans un canal de transmission présentant une réponse impulsionnelle $h(t)$ et elles sont reçues au niveau du récepteur où, après une mise en forme dans un filtre de réception, elles sont retransformées en données numériques par un convertisseur analogique-numérique de manière à obtenir un signal numérique $x'(n)$.

30 Afin de construire un système permettant de réaliser

l'égalisation du signal reçu, on va ci-après exprimer le signal numérique reçu $x'(n)$ en fonction du signal numérique émis $x(n)$. Pour cela, on va déterminer les différents signaux $x(t)$, $x_e(t)$, $x_r(t)$, $x'(t)$ enfin $x'(n)$ en utilisant les signaux déjà connus. De plus, on utilise aussi le modèle du canal en posant :

$$h(t) = \sum_{p=1}^P A_p \delta(t - \tau_p), \quad A_p : \text{atténuation du trajet } n^p$$

$$\delta_p : \text{retard du trajet } n^p$$

$\delta(t)$: fonction de dirac

D'autre part, dans ce calcul on suppose que le convertisseur numérique-analogique d'émission ainsi que le convertisseur analogique-numérique de réception sont parfaits et que les filtres sont linéaires. On peut donc écrire de ce fait :

$$x(t) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} x(m) \delta(t - mT) \text{ avec } x(m) = a_m + jb_m$$

Le signal $x'(t)$ reçu s'écrit :

$$x'(t) = x(t) * f_e(t) * h(t) * f_r(t) \quad \text{avec } f_e(t) \text{ et } f_r(t) \text{ la fonction de transfert des filtres de mise en forme d'émission et de réception}$$

$$= x(t) * f_e(t) * f_r(t) * h(t)$$

$$= x(t) * f(t) * h(t)$$

où $f(t)$ représente la forme d'onde reçue sans canal. Généralement $f(t)$ vérifie le 1^o critère de Nyquist, à savoir :

$$f(t) = 1, \quad t = 0$$

$$f(t) = 0, \quad t = kT \quad R \in \mathbb{N}, \quad T \text{ période de modulation}$$

Les formes d'ondes les plus couramment utilisées sont :

$$f(t) = \sin(\pi t/T) / (\pi t/T) \quad \text{sinus cardinal}$$

$$f(t) = (\sin(\pi t/T) / (\pi t/T)) \times (\cos(\alpha \pi t/T) / (1 - (2\alpha t/T)^2))$$

cosinus surélevé (α : roff off factor)

En introduisant le modèle du canal donné par $h(t)$, on peut écrire :

$$\begin{aligned}
 x'(t) &= \sum_{p=1}^P x(t) A_p f(t-\tau_p) \\
 &= \sum_{p=1}^P \left[\sum_{m=-\infty}^{+\infty} x(m) \delta(t-mT) \right] A_p f(t-\tau_p) \\
 &= \left[\sum_{m=-\infty}^{+\infty} x(m) \sum_{p=1}^P A_p f(t-mT-\tau_p) \right]
 \end{aligned}$$

5

Ce signal est échantillonné au rythme $1/T$ et on pose :

$$\begin{aligned}
 10 \quad x'(n) &= x'(t = nT + \delta) \quad 0 \leq \delta < T \quad \text{déphasage instant} \\
 &\quad \text{d'échantillonnage}
 \end{aligned}$$

$$= \left[\sum_{m=-\infty}^{+\infty} x(m) \sum_{p=1}^P A_p f((n-m)T + \delta - \tau_p) \right]$$

15

On pose pour chaque muti-trajet :

$$\tau_p = n_p T + \delta_p \quad 0 \leq \delta_p < T, \quad n_p \in \mathbb{N}$$

Il vient :

$$\begin{aligned}
 20 \quad x'(n) &= \left[\sum_{m=-\infty}^{+\infty} x(m) \sum_{p=1}^P A_p f((n-m-n_p)T + \delta - \delta_p) \right] \\
 &= \sum_{p=1}^P \sum_{m=-\infty}^{+\infty} A_p x(m) f((n-m-n_p)T + \delta - \delta_p) \\
 25 \quad &= \sum_{p=1}^P \sum_{m=-\infty}^{+\infty} A_p x(n-m-n_p) f(mT - \delta_p + \delta)
 \end{aligned}$$

30

On suppose que $f(t)$ décroît assez vite avec le temps pour que hors d'un intervalle $[l_1 T, l_2 T]$ elle soit négligeable. Avec les formes généralement utilisées, ceci est vérifié.

Il vient alors :

$$x'(n) = \sum_{p=1}^P \sum_{m=-l_1}^{l_2} x(n-m-n_p) A_p f(mT - \tau_p + \delta)$$

$$5 \quad = \sum_{p=1}^P \sum_{m=np-l_1}^{np+l_2} x(n-m) A_p f(mT - \tau_p + \delta)$$

On suppose ici, sans nuire à la généralité, que les indices des multi-trajets sont rangés par ordre de retards croissant avec
10 $\tau_1 = 0$ trajet direct
 τ_p trajet de retard maximal
alors

$$15 \quad x'(n) = \sum_{m=-l_1}^{l_2} x(n-m) A_1 f(mT + \delta) +$$

$$\sum_{m=n2-l_1}^{n2+l_2} x(n-m) A_2 f(mT - \tau_2 + \delta) + \dots$$

$$20 \quad \sum_{m=np-l_1}^{np+l_2} x(n-m) A_p f(mT - \tau_p + \delta)$$

On voit que l'on peut mettre $x'(n)$ sous la forme :

$$25 \quad x'(n) = \sum_{m=-l_1}^{np+l_2} x(n-m) f'(m) \quad \text{où } f'(m) \text{ dépend des } A_p f(mT - \tau_p + \delta) \quad p = 1, \dots, p$$

On peut réécrire :

$$30 \quad x'(n) = x(n)f'(0) + \sum_{m=1}^{nP+l_2} x(n-m)f'(m) + \sum_{m=-l_1}^{-1} x(n-m)f'(m)$$

[] [] []
 présent passé futur

On voit que la donnée reçue $x'(n)$ dépend de la donnée $x(n)$, des $(l_2 + n_p)$ données précédentes et des l_1 données suivantes.

Partant de l'équation 1 :

$$x'(n) \sum_{m=l_1}^{n+l_2} x(n-m)f'(m) \quad (1)$$

5

on peut écrire le système permettant de réaliser l'égalisation du signal reçu.

10

15

20

D'après l'équation 1 ci-dessus, on voit que la mémoire du canal est de $(l_1 + l_2 + n_p)$ données. Ainsi conformément à la présente invention, pour réaliser l'égalisation d'un canal de transmission numérique, on émet les données par paquets-temporel de durée finie en insérant entre chaque paquet un signal de référence de durée fixe, dans le mode de réalisation donné ici, appelé bouchon. Ce bouchon présente une longueur supérieure ou égale à $l_1 + l_2 + n_p$ données lui permettant donc d'absorber la mémoire du canal. A titre d'exemple, on peut prendre un bouchon de 64 données permettant d'absorber des retards et des étalements de la forme d'onde d'au plus 64 T. On associe à ces 64 données, 448 données utiles à transmettre pour former des paquets de durée finie fixe de 512 données.

Si on numérote ces paquets à partir d'une origine quelconque correspondant au premier échantillon d'un bouchon : 0, 1, ..., I, I + 1, ... on peut décrire un tel paquet par :

$$\begin{cases} x^I(n) = x(512 \times I + n) & n = 0, \dots, 511 \\ x^I(n), n = 0, \dots, 63 \rightarrow \text{bouchon} \\ x^I(n), n = 64 \dots 511 \rightarrow \text{données utiles} \end{cases}$$

30

Compte tenu de la répétition du signal de référence ou bouchon, pour deux paquets émis quelconques I et J on peut écrire

$$x^I(n) = x^J(n) \quad \forall I, J \quad \forall n \in [0, \dots, 63]$$

De la même façon, les données reçues sont groupées en paquets de 512 données mais on prend comme origine de numérotation le $(l_2 + n_p)$ ème échantillon du bouchon reçu correspondant au trajet le plus court, à savoir le trajet direct.

Dans ce cas, on peut écrire :

$$x^I(n) = x^I(512 \times I + n + l_2 + n_p) \quad n = 0, \dots, 511$$

$$5 \quad = \sum_{m=-l_1}^{l_2+n_p} x(512 \times I + n - m + l_2 + n_p) f'(m)$$

$$= \sum_{m=0}^{l_1+l_2+n_p} x(512 \times I + n + m) f'(l_2 + n_p - m)$$

$$10 \quad = \sum_{m=0}^{63} x(512 \times I + n + m) f''(m) \quad n = 0, \dots, 511$$

si $f''(m) = f'(l_2 + n_p - m)$

On pose :

$$15 \quad x^I p(n) = x^I(n+p) \quad n = 0, \dots, 511-P \quad \text{(permutation circulaire d'ordre } P)$$

$$= x^I(p) \quad n = 512 - P, 511$$

Par exemple :

$$20 \quad \{ x^I_3(n) \} = (x^I(3), x^I(4), \dots, x^I(511), x^I(0), x^I(1), x^I(2))$$

Il vient compte tenu de la répétition du bouchon au début de chaque paquet :

$$25 \quad \boxed{x^I(n) = \sum_{m=0}^{63} x^I_m(n) f''(m)} \quad (2)$$

Si on calcule la Transformée de Fourier discrète des deux

30

termes de l'équation (2), on trouve :

$$x^I(k) = \sum_{n=0}^{511} x^I(n) e^{-j \frac{2\pi}{512} k \cdot n} \quad k = 0, \dots, 511$$

$$5 \quad = \sum_{n=0}^{511} \left(\sum_{m=0}^{63} x^I_m(n) f''(m) \right) e^{-j \frac{2\pi}{512} k \cdot n}$$

$$10 \quad = \sum_{m=0}^{63} f''(m) \left(\sum_{n=0}^{511} x^I_m(n) e^{-j \frac{2\pi}{512} k \cdot n} \right)$$

$$15 \quad = \sum_{m=0}^{63} f''(m) X^I(k) e^{+j \frac{2\pi}{512} k \cdot m}$$

$$= X^I(k) \sum_{m=0}^{63} f''(m) e^{+j \frac{2\pi}{512} k \cdot m}$$

$$20 \quad \text{avec } X^I(k) = \sum_{n=0}^{511} x^I(n) e^{+j \frac{2\pi}{512} k \cdot n}$$

On pose :

$$25 \quad \boxed{H(k) = \sum_{m=0}^{63} f''(m) e^{+j \frac{2\pi}{512} k \cdot m}} \quad (3)$$

$$\text{soit : } H(k) = \sum_{m=0}^{l_1 + l_2 + n_p} f'(l_2 + n_p - m) e^{+j \frac{2\pi}{512} k \cdot m}$$

$$25 \quad = \left(\sum_{m=-11}^{l_2 + n_p} f'(m) e^{-j \frac{2\pi}{512} k \cdot m} \right) e^{+j \frac{2\pi}{512} k \cdot (l_2 + n_p)}$$

30 où le terme entre parenthèses représente la réponse en fréquence du filtre (donc du canal) décrit par l'équation (1) pour des fréquences multiples de $\frac{2\pi}{512}$ et où le deuxième terme est un déphasage dû au décalage dans la numérotation de $(l_2 + n_p)$ échantillons.

On peut donc écrire :

$$x'^I(k) = x^I(k) \times H(k)$$

où $H(k)$ représente la réponse en fréquence du canal de transmission
(4)

5

Il est aisément de voir que :

$$\frac{1}{512} \sum_{k=0}^{511} \left[x'^I(k)/H(k) \right] e^{+j \frac{2\pi}{512} k.n} = x^I(n) \quad n = 0, \dots, 511$$

10

Autrement dit la connaissance de la réponse en fréquence du canal pour un déphasage de $(l_2 + n_p)$ échantillons sur le trajet direct permet de retrouver les données émises par transformée de Fourier discrète inverse.

15

Le calcul de la réponse en fréquence du canal peut se faire par l'envoi d'un paquet-test dont la transformée de Fourier discrète est connue et disponible au récepteur. Selon un mode de réalisation de l'invention, ce paquet-test qui comprend les 64 données du bouchon suivies de 448 données fixes est émis périodiquement à un rythme qui dépend de la stationnarité supposée du canal de transmission.

20

Soit $x_T(n)$, $n = 0, \dots, 511$ ce paquet-test, Il lui correspond au récepteur un paquet $x'_T(n)$, $n = 0, \dots, 511$ où le premier échantillon est en phase avec le $(l_2 + n_p)$ ème échantillon du bouchon pour le trajet direct. Dans ce cas, on peut calculer l'estimé de la réponse en fréquence du canal par :

25

$$\hat{H}(k) = \frac{x'_T(k)}{x_T(k)} \quad \text{avec} \quad x_T(k) = \sum_{n=0}^{511} x_T(n) e^{-j \frac{2\pi}{512} k.n}$$

30

$$x'_T(k) = \sum_{n=0}^{511} x_T(n) e^{-j \frac{2\pi}{512} k.n}$$

l'égalisation des données se fera alors par :

$$\boxed{x', I(n) \xrightarrow[n=0, \dots, 511]{FFT} X', I(k) \xrightarrow[k=0, \dots, 511]{x(1/\hat{H}(k)} \hat{X}^I(k) \xrightarrow[k=0, \dots, 511]{FFT^{-1}} \hat{x}^I(n) \xrightarrow[n=0, \dots, 511]{} }$$

5

et les données utiles seront récupérées pour n variant de 64 à 511.

10

Pour pouvoir calculer la réponse en fréquence du canal $H(k)$ il faut insérer un signal de référence de durée fixe appelé bouchon entre chaque groupe de données utiles pour absorber la mémoire du canal. La longueur en échantillon du bouchon doit être supérieure ou égale à $(l_2 + l_1 + n_p)$ avec:

15

$n_p \times T \approx$ retard du trajet le plus long

$l_1 \times T \approx$ étalement à gauche de la forme d'onde reçue

$l_2 \times T \approx$ étalement à droite de la forme d'onde reçue

20

D'autre part, pour pouvoir appliquer l'analyse de Fourier, il faut être calé, au niveau du récepteur, sur le $(n_p + l_2)$ ème échantillon d'un bouchon sur le trajet le plus court, à savoir le trajet direct. Il est donc nécessaire de repérer dans le flux des

25

données arrivant au récepteur, l'endroit où se trouvent les bouchons. Pour repérer les données correspondant au bouchon dans le flux des données reçues, une solution consiste à faire une corrélation entre les données reçues et les données du bouchon

30

émis en utilisant un système tel que représenté sur la figure 2. Dans ce cas, les données reçues $x'(n)$ sont envoyées sur un registre à décalage 10 comportant 64 étages, chaque sortie du registre à décalage est envoyée sur un multiplicateur 11 recevant en entrée une donnée conjuguée du bouchon émis $b^*(n)$ avec n variant entre 63 et 0. Les sorties des multiplicateurs 11 sont envoyées vers des additionneurs 12 de telle sorte que chaque additionneur reçoive la sortie issue de l'additionneur précédent et d'un multiplicateur 11 de manière à obtenir en sortie un signal $C(n)$. Dans ce cas, quand les données reçues contiennent un bouchon émis ou l'une de ces répliques engendrées par un multitrajet, la sortie $|C(n)|^2$ présente un pic de corrélation

comme représenté sur la figure 3 qui donne la courbe $|C(n)|^2$ en fonction des échantillons. Le premier pic de corrélation qui correspond au trajet le plus court permet de se caler facilement sur le $(l_2 + n_p)$ ème échantillon du bouchon sur ce même trajet. De ce fait, on sera bien calé pour la découpe du flux entrant en blocs de 512 données. Cette corrélation entre les données reçues et les échantillons du bouchon peut être implantée en utilisant des transformée de Fourier d'ordre 512. Pour ce faire, le flux de données entrant est découpé avec une origine arbitraire en blocs de 512 échantillons et corrélé fréquentiellement avec les 64 échantillons du bouchon étendu à 512 à l'aide d'échantillons nuls. Le signal $|C_2(n)|^2$ est donc le résultat d'une corrélation circulaire entre les données reçues et le bouchon étendu à 512 échantillons avec des données nulles. De la même façon $|C_2(n)|^2$ présente des pics de corrélation qui permettent de situer le premier échantillon du bouchon sur le trajet le plus direct et à partir de là, on peut se caler sur le $(l_2 + n_p)$ ème échantillon pour découper le signal reçu en blocs de 512 données bien calées de manière à réaliser ensuite l'égalisation.

Lorsque le signal émis présente des paquets-test, on utilise ces paquets-test afin de calculer la réponse en fréquence du canal. Il est donc nécessaire de se caler sur les paquets-test. Ceci peut être fait en corrélant les paquets de 512 données avec les 512 données du paquet-test. Une autre méthode consiste à calculer pour chaque bloc, la réponse impulsionale du canal à partir de la transformée de Fourier des paquets-test. La réponse impulsionale calculée sera faible sauf quand on sera en phase avec un paquet-test reçu. Ceci permet de se synchroniser sur le dit paquet-test.

On décira maintenant avec référence aux figures 4 et 5 un mode de réalisation d'un émetteur et d'un récepteur permettant la mise en oeuvre du procédé conforme à la présente invention. Comme représenté sur la figure 4, dans l'émetteur permettant la mise en oeuvre du procédé de la présente invention en sortie du circuit 20 de codage des données numériques on connecte un circuit 21 de

stockage des données utiles qui sont mises sous forme de paquets
 de 448 échantillons. De même ces données utiles sont envoyées
 vers un circuit permettant de constituer les paquets temporels.
 dont la durée est connue du récepteur, à savoir des paquets de
 5 données de 512 échantillons. Pour constituer ces paquets, on
 insère au niveau du circuit 22 entre chaque paquet de 448
 échantillons, 64 échantillons issus d'un circuit 23 émettant un
 signal de référence appelé bouchon. Ces données bouchons sont des
 données connues au niveau du récepteur, elles sont toujours
 10 identiques dans le mode de réalisation décrit. On obtient donc en
 sortie du circuit 22 un signal $x^I(n)$ qui est envoyé vers un
 circuit 24 de mise en trame. Ce circuit 24 de mise en trame
 reçoit aussi les 512 données issues du circuit 25 de réalisation
 du paquet-test. Ce paquet-test est réalisé à l'aide de données
 15 test issues du circuit 26 et des données bouchons issues du
 circuit 23. Ce paquet-test est connu du récepteur et comporte 512
 échantillons. Il se répète périodiquement une fois par trame
 comme expliqué avec référence à la figure 1. Le signal $x(n)$ issu
 du circuit 24 de mise en trame est envoyé alors de manière connue
 20 sur un convertisseur numérique analogique 27 donnant en sortie un
 signal analogique $x(t)$ puis sur un filtre 28 donnant en sortie un
 signal mis en forme $x_e(t)$ qui est alors émis de manière connue
 vers le récepteur. L'émetteur décrit est un émetteur mettant le
 signal sous forme de paquets temporels de durée finie fixe et
 25 utilisant les paquets-test. Comme mentionné ci-dessus,
 l'utilisation de paquets-test est optionnelle dans le cadre de la
 présente invention. De ce fait, l'émetteur pourrait très bien ne
 comporter que les circuits 20, 21, 22, 23, 27 et 28.

On décrira maintenant avec référence plus particulièrement à
 30 la figure 5, un récepteur permettant de recevoir les signaux
 $x_e(t)$ émis par l'émetteur et de réaliser l'égalisation du canal
 de transmission. Ce récepteur comporte un filtre 30 Fr recevant
 le signal $x_r(t)$ et sortant un signal $x'(t)$ qui est envoyé sur un
 convertisseur analogique-numérique 31 fonctionnant avec une
 horloge $1/T$ et donnant en sortie un signal numérique $x'(n)$. Ce

signal $x'(n)$ est envoyé vers un circuit 32 de détermination des bouchons appelé synchro-bouchon qui peut être un circuit de corrélation tel que décrit ci-dessus et qui envoie vers un circuit 33 de découpe en paquet du signal $x'(n)$ une information de synchronisation. D'autre part, le signal $x'(n)$ est envoyé vers le circuit 33 de découpe en paquet. En sortie, on observe un signal $x'^I(n)$ formé de 512 échantillons qui sont envoyés respectivement vers un circuit 34 de détermination des synchro paquets-test et vers un circuit 35 de Transformation de Fourier FFT. Le circuit 34 de détermination de la synchro paquet-test 34 détermine selon un des procédés décrit ci-dessus un signal de synchro-paquet qui est envoyé vers un multiplexeur 36 qui reçoit sur son entrée le signal $X'^I(k)$ issu du circuit 35 de Transformée de Fourier et qui commute le signal respectivement soit vers un circuit 37 de calcul des coefficients de correction, soit vers un circuit 38 d'égalisation. Le circuit 37 de calcul des coefficients de correction envoie en sortie les 512 échantillons corrigés vers le circuit d'égalisation 38. En sortie du circuit 38 d'égalisation, on obtient le signal $X^I(k)$ qui est envoyé vers un circuit 39 de calcul de Transformée de Fourier inverse FFT^{-1} . Ce circuit donne en sortie un signal $x^I(n)$ comportant 512 échantillons constitués de données bouchon et de données utiles. Ce signal est envoyé sur un circuit 40 déterminant parmi ces échantillons les 448 données utiles qui sont alors envoyées vers un filtre 41 et vers un circuit de décodage 42.

La présente invention a été décrite en se référant à des paquets temporels de durées fixes. Il est évident qu'elle peut aussi s'appliquer à des paquets temporels de durées variables. D'autre part, les parties non décrites de l'émetteur et du récepteur sont réalisées comme connu de l'homme de l'art dans le cas d'une modulation de type MAQ-n.

REVENDICATIONS

1 - Procédé d'égalisation fréquentielle d'un canal de transmission numérique d'un signal $x(t)$ modulé en amplitude et/ou en phase entre un émetteur et un récepteur, caractérisé en ce que :

5 - le signal $x(t)$ est émis sous forme de paquets temporels de durées finies connues du récepteur avec, entre chaque paquet, insertion d'un signal de référence de durée fixe,

10 - à la réception, on se base sur les signaux de référence reçus, on estime la réponse en fréquence du canal par comparaison entre le spectre d'au moins le signal de référence reçu et le spectre d'au moins le signal de référence émis connu du récepteur, puis on réalise l'égalisation du canal par déconvolution fréquentielle.

15 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les paquets temporels ont une durée fixe.

20 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les paquets temporels ont des durées variables.

25 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le signal de référence a une durée permettant d'absorber la mémoire du canal.

30 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, de plus, le signal émis comporte périodiquement des paquets-test connus de récepteur.

35 - Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que les paquets-test sont constitués par un paquet temporel spécifique associé à un signal de référence.

40 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que le signal reçu est découpé en trames, chaque trame étant composée d'un nombre entier de paquets associés à un signal de référence et incluant un paquet-test.

45 - Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que le calcul de la réponse en fréquence du canal est réalisé en utilisant les paquets-test.

- 9 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le câlage sur les signaux de référence ou les paquets-test est obtenu en effectuant une corrélation entre le signal reçu et le signal de référence ou le paquet-test émis.
- 5 10 - Emetteur pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte après le circuit de codage numérique, des moyens pour découper le signal numérique à émettre en paquets et pour insérer entre chaque paquet des données de référence, les paquets ainsi obtenus étant envoyés sur un convertisseur numérique analogique.
- 10 11 - Emetteur selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comporte de plus des moyens pour réaliser avec des données test et les données de référence des paquets-test qui sont insérés périodiquement dans les paquets formant le signal émis.
- 15 12 - Récepteur pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte, après le convertisseur analogique-numérique, un circuit de découpe en paquets, un circuit de calcul de transformées de Fourier rapide commuté sélectivement soit vers un circuit de calcul des coefficients de correction, soit vers un circuit d'égalisation, un circuit de calcul de transformée de Fourier inverse et un circuit permettant d'extraire les données utiles.
- 20

1.3

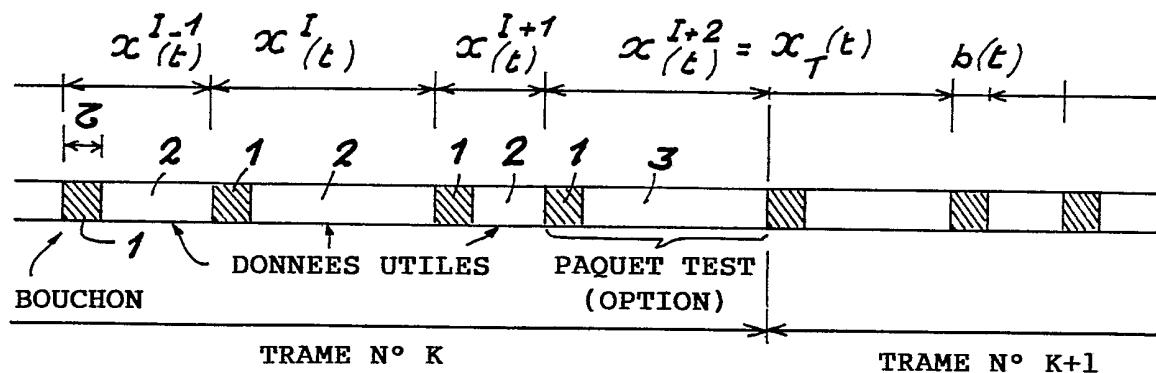


FIG. 1

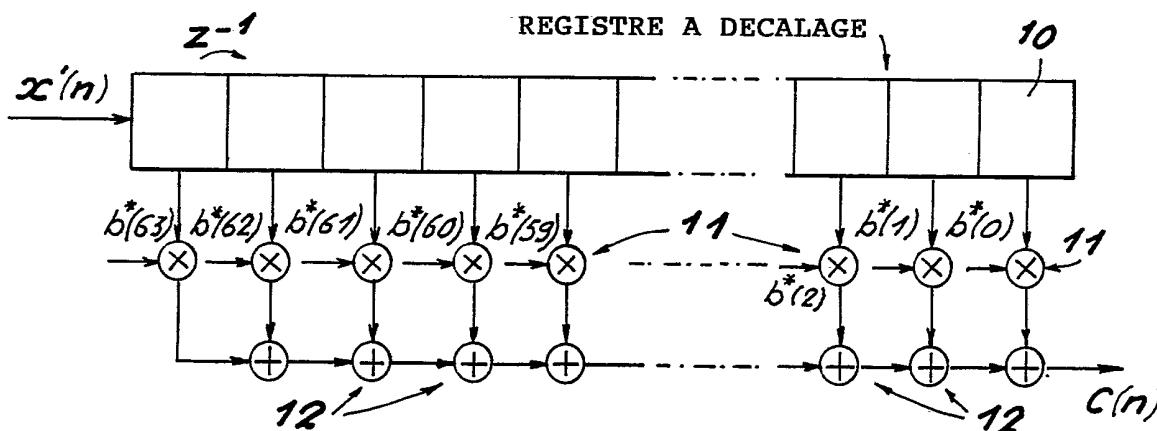


FIG. 2

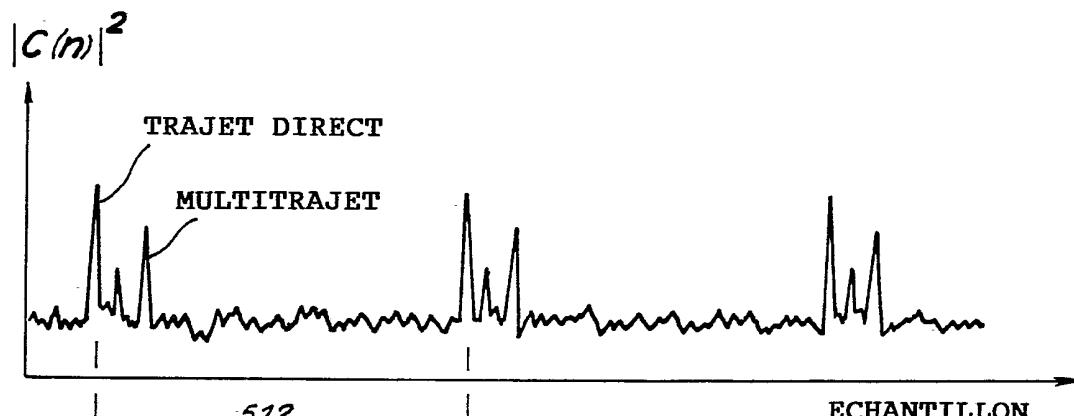


FIG. 3

2.3

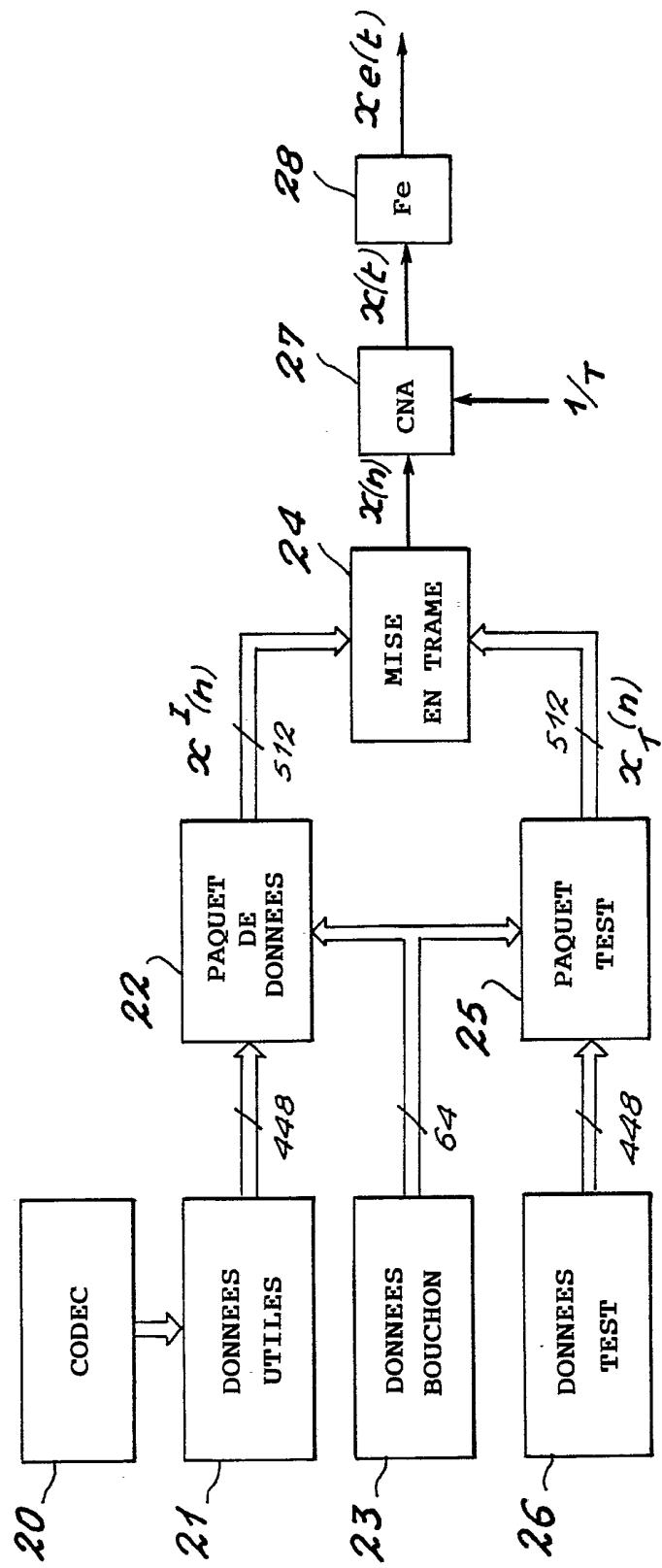
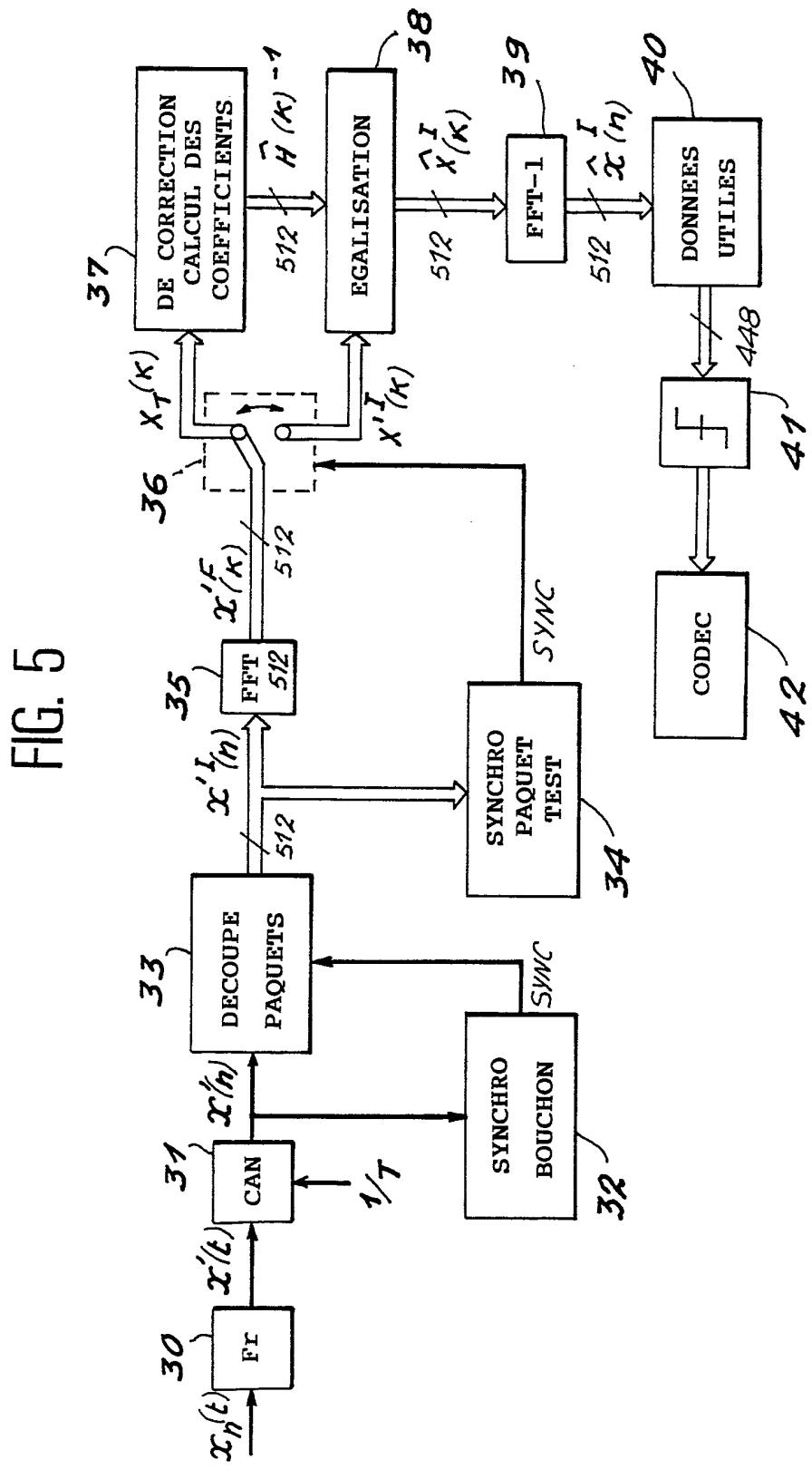


FIG. 4

3,3



INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

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

N° d'enregistrement
national

FR 9113809
FA 471505
Page 1

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	US-A-4 058 713 (DITORO)	1,2,4, 8-10,12
A	* abrégé; figures 4,6A,6B * * colonne 2, ligne 18 - ligne 35 * * colonne 2, ligne 51 - ligne 54 * * colonne 3, ligne 54 - ligne 59 * * colonne 7, ligne 67 - colonne 10, ligne 18 * * colonne 11, ligne 19 - colonne 12, ligne 27 * --- 	3,5-7,11
A	WO-A-8 805 981 (MOTOROLA INC.) * page 5, ligne 1 - ligne 34 * * page 11, ligne 19 - page 13, ligne 6 * * page 14, ligne 15 - ligne 22 * * revendications 1,5,10; figure 3B * --- 	1,2,4, 8-10
A	IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH & SIGNAL PROCESSING ICASSP 1978, Oklahoma, US, 10.-12.04.1978, pages 100-104, IEEE, New York, US; D. MAIWALD et al.: 'An Adaptive Equalizer with Significant Reduced Number of Operations'. * page 101, alinéa II.1 - page 102, alinéa II.2 * * page 103, alinéa IV.1 * --- 	1,8-10, 12
A	US-A-4 152 649 (CHOQUET) * abrégé; figure 4 * * colonne 2, ligne 56 - colonne 3, ligne 11 * --- ---/--- 	1,8-10, 12
1		
Date d'achèvement de la recherche 05 OCTOBRE 1992		Examinateur GRIES T.M.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

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

N° d'enregistrement
national

FR 9113809

FA 471505

Page 2

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	GB-A-1 378 811 (GENERAL DATACOMM INDUSTRIES INC.) * page 1, colonne de gauche, ligne 39 - page 1, colonne de droite, ligne 58 * * page 3, colonne de gauche, ligne 6 - ligne 15; figures 4,4A * ----	2,3
A	US-A-3 855 422 (CADIOU ET AL.) * abrégé * * colonne 2, ligne 45 - ligne 68 * ----	3
DOMAINE TECHNIQUE RECHERCHES (Int. Cl.5)		
1		
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
05 OCTOBRE 1992		GRIES T.M.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		