(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
7 mars 2002 (07.03.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 02/19557 A1

(51) Classification internationale des brevets[7] : H04B 1/707

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR01/02717

(22) Date de dépôt international : 31 août 2001 (31.08.2001)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
00/11198 1 septembre 2000 (01.09.2000) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **THALES** [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **ROUMY, Aline** [FR/FR]; THALES Intellectual Property, 13, av. du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). **PIREZ, Didier** [FR/FR]; THALES Intellectual Property, 13, av. du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). **FIJALKOW, Inbar** [FR/FR]; THALES Intellectual Property, 13, av. du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

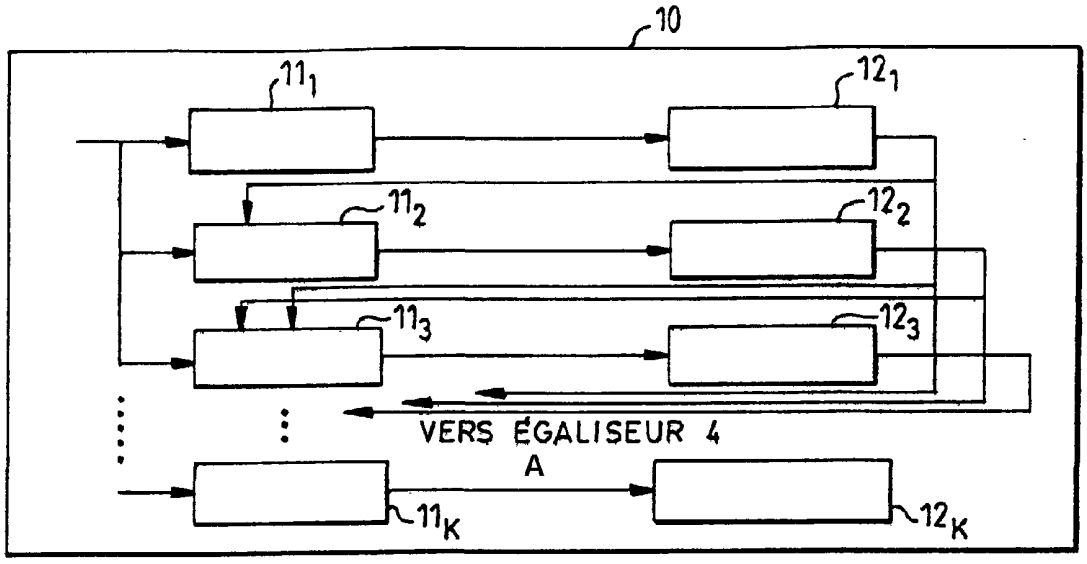
(74) Mandataire : **DUDOUIT, Isabelle**; THALES Intellectual Property, 13, avenue du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(81) États désignés *(national)* : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DEMODULATING SIGNALS FROM MULTIUSERS

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF POUR DEMODULER DES SIGNAUX PROVENANT DE MULTI-UTILISATEURS



A...TO EQUALIZER 4

(57) **Abstract:** The invention concerns a method and a device for equalizing and decoding digital signals from K users comprising several modules, each module including an equalizer connected to a decoder. An equalizer of rank k corresponding to an index of the user k is connected to at least two decoders of rank varying from k to k-1. The invention is useful for demodulating signals in mobile radio systems.

[Suite sur la page suivante]

WO 02/19557 A1

SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) États désignés *(régional)* **:** brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii)) pour toutes les désignations*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : Procédé et dispositif d'égalisation et de décodage de signaux numériques de K utilisateurs comportant plusieurs modules, chaque module comporte un égaliseur relié à un décodeur. Un égaliseur de rang k correspondant à un indice de l'utilisateur k est relié au moins aux décodeurs de rang variant de 1 à k-1. Application pour démoduler des signaux dans les systèmes radiomobiles.

Procédé et dispositif pour démoduler des signaux provenant de multi-utilisateurs

L'invention concerne un procédé et un dispositif d'égalisation et de décodage de signaux numériques provenant de plusieurs utilisateurs.

L'invention s'applique dans un contexte CDMA (abréviation de code division multiple access) avec codage de canal.

Elle s'applique en particulier pour les systèmes radio-mobiles de troisième génération.

En transmission numérique, un récepteur peut être vu comme une succession de plusieurs fonctions élémentaires réalisant chacune un traitement spécifique tel que le filtrage, la démodulation, l'égalisation, le décodage,...etc.

La technique CDMA est une technique d'accès multiple qui sera à la base des systèmes radio-mobiles de troisième génération.

Cette technique est basée sur le principe de l'étalement de spectre : la transmission s'effectue à un débit beaucoup plus élevé qu'il est nécessaire pour chaque utilisateur, en multipliant les symboles utiles par des séquences de symboles à haut débit dites « séquences d'étalement ».

Toutes les transmissions s'effectuent ensuite à la même fréquence et aux mêmes instants, la séparation entre les utilisateurs étant obtenue par des séquences d'étalement différentes.

Dans les premières versions de systèmes CDMA, la démodulation se fait utilisateur par utilisateur. L'opération de « désétalement » qui consiste à multiplier à nouveau le signal reçu par la séquence d'étalement permet de ramener le signal dans sa bande utile d'origine, alors que les signaux des autres utilisateurs restent étalés ; ces « autres utilisateurs » sont vus comme un niveau de bruit et le gain de traitement, dit « gain d'étalement », est égal au rapport entre le débit utile et le débit de transmission. C'est ce gain de traitement qui permet à plusieurs utilisateurs de cohabiter dans la même bande.

Des techniques plus récentes tentent de démoduler tous les utilisateurs conjointement, en considérant les signaux provenant des autres utilisateurs autrement que comme du bruit. Ces techniques, quoi que

souvent plus complexes, améliorent considérablement les performances par rapport à la technique standard et en particulier elles permettent de résoudre l'effet connu sous l'expression « near-far effect » inconvénient majeur résultant du fait que, si tous les mobiles émettent à la même puissance, un émetteur proche de la station de base s'approprie à lui seul la quasi-totalité de la capacité d'accès multiple dans la cellule empêchant les autres de communiquer. Pour éviter cela, les systèmes classiques nécessitent un contrôle de puissance performant sur chaque émetteur pour que les signaux soient reçus avec la même puissance à la station de base.

Différentes techniques de décodage sont connues de l'art antérieur.

Par exemple, les turbo-codes sont des codes correcteurs d'erreurs performants. La version de base utilise deux codes convolutionnels simples dont l'un reçoit les données à émettre et l'autre les données passées par un entrelaceur. Les sorties de ces deux codes sont ensuite multiplexées. A la réception, on itère un certain nombre de fois entre le décodage du premier et du deuxième code, chaque décodage fournissant des informations pondérées sur les bits utiles au décodage suivant. Les décodages successifs améliorent la connaissance que l'on a des bits à décider. Cette procédure itérative permet d'atteindre, avec des décodages élémentaires très simples, des performances atteintes avec des codes beaucoup plus complexes.

Dans la turbo-égalisation ou turbo-détection, le principe de traitement itératif est repris en utilisant un égaliseur et un décodeur séparés par un entrelaceur. Ce principe s'applique à la démodulation sur canal sélectif en fréquence qui nécessite comme premier étage de traitement un égaliseur. Par itération entre des étapes d'égalisation et des étapes de décodage, l'égaliseur bénéficie d'informations liées au code correcteur d'erreurs auxquelles il n'a pas accès normalement. De cette façon on tente de se rapprocher des performances du décodage conjoint optimal mettant en œuvre l'égalisation plus le code correcteur, qui s'avère trop complexe de mise en œuvre par la présence de l'entrelaceur.

Le turbo-CDMA applique le principe « turbo » aux transmissions CDMA codées. Plusieurs itérations entre un démodulateur multi-utilisateurs et un décodeur correcteur d'erreurs sont réalisées.

Différentes structures ont déjà été proposées pour améliorer la réception des signaux.

Le brevet FR 95/01603 divulgue une structure d'égalisation et de décodage conjoints avec itération en réception. Il est toutefois limité à un mono utilisateur. L'égaliseur utilisé est un égaliseur MAP (abréviation de Maximum a Posteriori) connu du domaine technique des turbo-codes ou des turbo-égaliseurs.

Le brevet FR 2.763.978 décrit un récepteur où l'égalisation est réalisée de la manière suivante : pour la première itération on utilise un égaliseur linéaire puis un annuleur d'interférence pour les suivantes. Si cette structure s'avère moins complexe que celle décrite dans le brevet FR 95/01603, elle ne permet toutefois pas de travailler dans des conditions optimales.

D'autres documents, par exemple :

- l'article de P.D. Alexander, M.C. Reed, J.A. Asenstorfer, C.B. Schlegel, «Iterative multiuser interference reduction : Turbo CDMA», IEEE Trans. Comm., Vol. 47, No. 7, pp. 1008-1014, July 1999, ou encore
- l'article de J. Hagenauer, «The Turbo principle : Tutorial introduction and state of the art», Int. Symp. on Turbo-codes, Brest, 1997, pp. 1-11,

décrivent des structures de récepteurs turbo-CDMA basés sur des égaliseurs MAP. Ces récepteurs sont des extensions au cas multi-utilisateur du Turbo-détecteur. Les traitements sont réalisés en parallèle et de manière figée pour chaque utilisateur : en effet, à chaque itération les traitements utilisent les résultats de l'itération précédente.

Le document de X.Wang et H.V. Poor ayant pour titre « Iterative (turbo) soft interference cancellation and decoding for coded CDMA », IEEE

Trans. Comm ., Vol.47, N°.7, pp 1046-1061, July 1999, divulgue un principe de récepteur turbo-CDMA avec annulation d'interférence à base de filtres. Cet égaliseur contient une généralisation de l'annuleur d'interférence utilisé habituellement en Turbo-égalisation au cas multi-utilisateur, suivi par un filtrage de Wiener. Le principe induit une certaine complexité puisqu'il nécessite l'inversion d'une matrice à chaque nouveau symbole à traiter.

Enfin, l'article de A. Klein, G. Kawas Kaleh et P. W. Baier, «Zero forcing and minimum mean-square-error equalization for multiuser detection in CDMA channels», IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol. 45, No. 2, pp. 276-287, March 1996, divulgue des structures d'égaliseurs multi-utilisateurs sans le décodage correcteur d'erreurs.

Le principe de l'invention repose sur une nouvelle structure qui s'insère notamment dans un système turbo-CDMA. L'idée est de démoduler les utilisateurs les uns après les autres, une démodulation étant suivie d'un décodage d'erreurs. A l'issue d'une itération pour un utilisateur donné qui correspond à une égalisation et à un décodage sur les symboles de l'utilisateur, on dispose d'une information fiable sur les symboles de l'utilisateur en question. Avant de démoduler un utilisateur, une première étape consiste à retrancher du signal reçu la contribution de l'ensemble des interférences des utilisateurs démodulés avant lui, déterminées à partir des informations sur les symboles décidés. Les utilisateurs qui n'ont pas encore été démodulés sont considérés comme du bruit dont la structure est connue, notamment, grâce à la connaissance des séquences d'étalement ou des paramètres de codage du signal à l'émission.

L'invention concerne aussi un procédé d'égalisation et de décodage comportant une étape où les utilisateurs sont ordonnés avant d'être traités.

L'invention concerne un dispositif d'égalisation et de décodage de signaux numériques de K utilisateurs, comportant K modules, chaque module comportant un égaliseur relié à un décodeur. Il est caractérisé en ce qu'un égaliseur de rang k est relié à plusieurs décodeurs de rang inférieur 1 à k-1.

Un égaliseur peut comporter un premier bloc recevant au moins le signal à démoduler de l'utilisateur k et les estimées des symboles associés aux utilisateurs 1 à k-1 et un deuxième bloc adapté à retrancher la contribution des symboles passés déjà démodulés.

Le premier bloc reçoit par exemple lors d'une ième itération, au moins le signal de l'utilisateur k à démoduler, au moins les estimées des symboles associés aux utilisateurs 1 à k-1 correspondant à la ième itération et les estimées des symboles des utilisateurs k+1 à K obtenues à la (i-1)ième itération et le deuxième bloc les estimées des symboles de l'utilisateur k obtenues à la (i-1)ième itération.

Le dispositif peut comporter un dispositif permettant de déterminer un critère pour ordonner les utilisateurs.

L'invention concerne un procédé d'égalisation et de décodage de signaux numériques de K utilisateurs dans un récepteur comportant plusieurs modules comportant chacun au moins un égaliseur suivi d'un décodeur. Il est caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :

a) à l'itération 1, pour l'utilisateur d'indice 1 transmettre le signal à démoduler à un égaliseur de rang 1 puis à un décodeur de rang 1 afin d'obtenir des symboles modulés estimés de l'utilisateur k, et

b) pour les utilisateurs k d'indice différent de 1, transmettre le signal à démoduler à un égaliseur de rang k et les différents symboles modulés estimés issus d'au moins un des décodeurs de rang (k-1) pour obtenir les symboles modulés estimés de l'utilisateur k.

Le dispositif et le procédé selon l'invention s'appliquent pour démoduler un signal dans un cadre d'accès multiple à répartition spatiale et/ou une répartition par codes de type CDMA.

Le procédé de décodage selon l'invention et le dispositif ou récepteur adapté présentent notamment comme avantage de s'affranchir de l'interférence entre symboles de manière plus performante que l'art antérieur.

Le procédé et la structure du récepteur se révèlent aussi moins complexes que certaines méthodes de l'art antérieur utilisant des égaliseurs de type MAP (maximum a posteriori) ou des filtres de type Wiener qui nécessitent une inversion de matrice par estimation de symbole.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description donnée ci-après à titre illustratif et nullement limitatif en regard des figures où :

- la figure 1 schématise une chaîne de codage des signaux de K utilisateurs se partageant un canal de propagation,
- la figure 2 représente un exemple de structure d'un récepteur permettant de schématiser le problème à la réception,
- la figure 3 représente les étapes et les moyens mis en œuvre par l'invention,
- la figure 4 représente une matrice modélisant le signal,
- la figure 5 représente un exemple de structure de l'égaliseur utilisé dans le procédé selon l'invention, et
- la figure 6 une autre variante de mise en œuvre de l'invention.

La figure 1 représente une chaîne de codage des signaux émis par K utilisateurs qui se partagent un même canal de propagation et qui utilisent des formes d'onde spectralement étalées à l'aide de codes, chaque utilisateur désigné par k, avec k variant de 1 à K, possède son propre code. Les utilisateurs sont considérés comme des utilisateurs asynchrones qui accèdent à un même canal de propagation sélectif en fréquence pour transmettre l'information.

Le signal numérique associé à l'utilisateur k est codé à l'aide d'un code correcteur 1 avant d'être transmis à un entrelaceur 2. Ces deux blocs fonctionnels peuvent être identiques ou bien différents pour chaque utilisateur k. Le code correcteur est par exemple de type convolutionnel, sans obligation toutefois.

Le signal codé est ensuite « étalé » à l'aide d'une séquence d'étalement 3_k, l'indice k permet de désigner la séquence d'étalement spécifique pour chaque utilisateur k. Les séquences d'étalement différentes pour chaque utilisateur assurent ainsi la discrimination entre eux. Un signal modulé va voir un canal de propagation 4_k différent pour chaque utilisateur.

Ceci correspond typiquement à la liaison montante d'un système radiomobile cellulaire. La notion de canal de propagation intègre par exemple les décalages temporels éventuels résultant d'une absence de synchronisation entre les K utilisateurs.

Le récepteur voit la somme des différentes contributions des signaux issus des différents canaux de propagation. A ces signaux peut s'ajouter du bruit thermique lié aux étages d'entrée du récepteur décrit ci-après ou encore de l'interférence provenant de signaux émis dans la même bande, par exemple les mobiles de cellules voisines utilisant la même fréquence.

Pour des raisons de simplification dans la description, les opérations de modulation, typiquement la mise en forme par un demi-filtre de Nyquist et la transmission par porteuse, qui sont connues de l'Homme du métier ne sont pas représentées sur la figure 1.

La figure 2 montre un schéma très général d'un récepteur.

Le signal composé de l'ensemble des symboles de tous les K utilisateurs arrive dans un égaliseur 6 multi utilisateurs avant d'être transmis dans un dispositif de décodage 7 comportant un ou plusieurs décodeurs 7_k.

L'égaliseur 6 reçoit le signal des différents utilisateurs ainsi que des informations fournies par le bloc de décodage 7 sur les symboles codés par l'intermédiaire d'une liaison 8, excepté lorsqu'aucun décodage n'a été effectué. L'égaliseur 6 fournit en sortie des informations pondérées sur les symboles codés qui exploitent ces deux types d'information, typiquement les probabilités d'émission des différents symboles possibles.

Les fonctions de désentrelacement et de mise en forme des informations pondérées entre l'égaliseur et les décodeurs ne sont pas représentées sur la figure. Elles permettent par exemple de traduire les informations sur les symboles 8-aires en probabilités sur les bits dans le cas où la modulation est à 8 états et le code binaire.

Le ou les décodeurs 7_k reçoivent les informations de l'égaliseur et exploitent les informations liées au code correcteur d'erreurs afin de fournir des informations plus fiables sur les symboles utiles et donc les symboles codés. Par exemple pour un code convolutionnel, le décodeur peut être du type « MAP » (maximum a posteriori) et calcule les probabilités sur les

symboles utiles à partir de la connaissance des probabilités sur les symboles codés.

Les informations pondérées sont ensuite réentrelacées et remises en forme pour être réinjectées dans le bloc « égaliseur ». L'étape d'entrelacement des données s'effectue selon une méthode connue de l'Homme du métier et ne sera pas détaillée. Une façon de procéder consiste par exemple à écrire les données colonne par colonne dans une matrice de dimension appropriée et de lire cette matrice ligne par ligne par exemple. Ceci permet avantageusement de répartir les erreurs éventuelles lors de l'étape de lecture du signal. La mise en forme s'effectue selon des méthodes classiques et connues de l'Homme du métier, ce qui explique pourquoi elles ne sont pas détaillées.

La figure 3 représente une structure de récepteur 10 selon l'invention comportant plusieurs égaliseurs 11_k et plusieurs décodeurs 12_k, l'indice $_k$ permet d'identifier un utilisateur. Le récepteur comporte donc autant de modules formés chacun d'un égaliseur et d'un décodeur qu'il n'y a d'utilisateurs.

Le signal comportant les symboles de tous les utilisateurs est reçu par chaque égaliseur 11_k du récepteur 10.

Etape a)

L'égaliseur de rang 1 référencé 11_1 reçoit par exemple les échantillons du signal à décoder, sans information a priori sur ses propres symboles ou sur les symboles des autres utilisateurs. L'information issue de cette première égalisation est transmise au décodeur de rang 1 désigné par 12_1 qui fournit une information plus fiable sur les symboles utiles et donc les symboles modulés de l'utilisateur.

Etape b)

L'information fiable sur les symboles utiles obtenue pour l'utilisateur 1 est ensuite transmise à l'égaliseur de rang 2, 11_2, qui reçoit aussi les échantillons du signal reçu à décoder. L'égaliseur permet ainsi de tenir compte de l'interférence liée à l'utilisateur de rang 1, tout en ne connaissant toujours rien à priori sur les symboles des utilisateurs de rang supérieur ou égal à 2. L'information de cette deuxième égalisation est

ensuite transmise au décodeur de rang 2, 12_2, qui va fournir des informations sur les symboles utiles de l'utilisateur de rang 2.

L'étape b) est exécutée autant de fois qu'il y a d'utilisateurs de rang différent de 1, donc K-1 fois.

En généralisant, pour l'utilisateur d'indice k, les échantillons du signal sont transmis à l'égaliseur de rang k, 11_k, qui reçoit aussi les symboles utiles concernant les utilisateurs de rang 1 à k-1, issus des différents décodeurs 12_1,..., 12_{k-1}. L'égaliseur 11_k prend ainsi en compte les interférences liées aux utilisateurs de rang 1 à (k-1) pour le décodage du signal lié à l'utilisateur k. L'information issue de cette kème égalisation est ensuite transmise au décodeur de rang k, 12_k, qui va fournir des informations sur les symboles utiles de l'utilisateur de rang k.

Le dernier égaliseur possède des informations sur tous les autres utilisateurs.

Selon une variante de réalisation de l'invention, l'égaliseur utilisé présente une structure en deux parties. La première partie permet de soustraire pour un utilisateur k considéré, la participation des utilisateurs de rang 1 à k-1 et la deuxième partie correspond à une structure d'égaliseur à décision dans la boucle, en anglais DFE abréviation de « Decision Feedback Equaliser » présentant des caractéristiques données ci-après.

Le signal reçu par l'égaliseur peut être modélisé de la manière suivante décrite ci-après.

On suppose qu'un bloc d'échantillons reçus peut être rangé sous une forme vectorielle Z. Ce bloc d'échantillons est issu de la contribution des K utilisateurs, chacun d'eux contribuant avec N symboles codés.

La contribution d'un utilisateur d'indice k quelconque au signal reçu s'obtient, sans prendre en compte les opérations de modulation sur porteuse, par les opérations suivantes :

- étalement d'un facteur Q de chaque symbole codé,
- mise en forme, par exemple par un demi-filtre de Nyquist,
- filtrage par le canal de propagation par introduction de trajets multiples par exemple,
- filtrage anti-repliement en réception, et
- échantillonnage.

Le signal de l'utilisateur k avant échantillonnage s'écrit par exemple selon l'équation (1) suivante

$$z_k(t) = \sum_n a_{n,k} \sum_{q=1}^{Q} c_{q,k} \cdot (h \otimes p_k \otimes f)(t - qT_c - nT_s) \quad (1)$$

Dans cette équation, h représente le filtre de mise en forme à l'émission, $p_k(t)$ le canal de propagation spécifique à un utilisateur k, f(t) le filtre de réception avant échantillonnage, T_c la période chip inverse de la vitesse de modulation et T_s la période symbole avant étalement. Les symboles $a_{n,k}$ sont les symboles codés de l'utilisateur k et les symboles $c_{q,k}$ sont les chips de la séquence d'étalement, n correspond à l'indice temporel du symbole codé et q à l'indice des chips ou symboles de la séquence d'étalement.

Le symbole

$\otimes$

représente la convolution.

Si on pose

$$s_k(t) = \sum_{q=1}^{Q} c_{q,k} \cdot (h \otimes p_k \otimes f)(t - qT_c) \quad (2)$$

On peut écrire

$$z_k(t) = \sum_n a_{n,k} s_k(t - nT_s) \quad (3)$$

L'équation (3) montre que la contribution de chaque utilisateur k peut se mettre sous la forme du filtrage d'un train de symboles par une certaine fonction $s_k(t)$ qui contient les effets de l'étalement, du filtre de mise en forme à l'émission, de la propagation et des filtres de réception avant l'échantillonnage.

Si on appelle S_k le vecteur contenant les échantillons de $s_k(t)$, on peut réécrire le signal échantillonné pour l'utilisateur k de la manière suivante :

$$Z_k = H_k \cdot A_k \qquad (4)$$

Où A_k est le vecteur des N symboles $a_{n,k}$ et H_k une matrice construite à partir du vecteur Sk de la manière décrite à la figure 4.

Les colonnes de la matrice H_k sont construites à partir de versions décalées de la séquence S_k, chaque colonne correspond à un nouveau symbole du vecteur A_k et le décalage correspond au nombre d'échantillons par symbole. Le recouvrement entre les différentes versions décalées de S_k correspond à la durée de la réponse impulsionnelle globale (filtres plus canal de propagation).

Le modèle complet peut donc s'écrire :

$$Z = \sum_{k=1}^{K} H_k A_k + W \qquad (5)$$

Dans cette équation (5), W est un vecteur de bruit lié aux interférences extérieures à la cellule et au bruit interne du récepteur.

La figure 5 montre la structure d'un égaliseur fonctionnant en utilisant le principe de rebouclage décrit précédemment en relation avec la figure 3.

Lors de l'égalisation de l'utilisateur k, le premier bloc 20 a pour fonction de retrancher du signal reçu Z les contributions des utilisateurs d'indices compris entre 1 et k-1, c'est-à-dire des utilisateurs déjà traités. Pour ce faire il reçoit les vecteurs de symboles estimés correspondant à ces utilisateurs. L'estimée des symboles est effectuée par exemple en calculant l'espérance mathématique de la valeur du symbole à partir des probabilités obtenues lors des étapes de décodage.

Le deuxième bloc 21 a pour fonction de traiter l'interférence inter-symbole correspondant aux symboles de l'utilisateur k lui-même, et le bruit résultant des utilisateurs d'indices k+1 à K non encore traités et du bruit thermique. L'égaliseur a une structure DFE, c'est-à-dire qu'il est composé d'une partie "filtre transverse" et d'une partie "décision dans la boucle". La partie "filtre transverse" est calculée en prenant en compte la connaissance que l'on a de la structure du bruit générée par les utilisateurs non encore traités et par le bruit thermique. La partie "décision dans la boucle" a un fonctionnement séquentiel. Pour chaque symbole d'indice n de l'utilisateur courant, elle retranche la contribution des symboles d'indice inférieur déjà décidés.

Le deuxième bloc selon l'invention comporte par exemple un filtre transverse 22 telle qu'une matrice s'appliquant sur le vecteur U, le vecteur V résultant est échantillonné au rythme symbole. Les coordonnées v_i de ce vecteur sont ensuite passées dans une boucle comportant un organe de décision 23 et un filtre récursif 24. L'organe de décision permet d'obtenir une décision sur les symboles. A chaque nouveau symbole le filtre récursif 24 retranche la contribution des symboles déjà décidés dans le bloc et renvoyés. La boucle comporte aussi une sortie pondérée 25 avant l'organe de décision qui permet de transmettre des symboles au décodeur.

Le calcul des filtres transverse 22 et récursif 24 s'effectue par exemple de la manière décrite ci-après.

Le calcul des filtres utilise comme critère la minimisation de l'erreur quadratique moyenne entre la sortie pondérée de l'égaliseur et le vecteur de symboles de l'utilisateur k

$$min(E(\|Y_k - A_k\|^2)) \qquad (6)$$

En reprenant l'équation (5), le vecteur U peut s'écrire de la manière suivante

$$\begin{aligned} U &= H_k A_k + B \\ B &= \sum_{l=k+1}^{K} H_l A_l + W \end{aligned} \qquad (7)$$

Dans cette équation (7), le bruit est constitué des signaux émis par les utilisateurs non encore décodés de rang k+1 à K et du bruit additif initial W.

Pour un bruit blanc W, les expressions des filtres sont données ci-dessous :

La matrice de corrélation de B s'écrit

$$R_B = \sigma_A{}^2 \cdot \sum_{l=k+1}^{K} H_l H_l^{\dagger} + \sigma_W{}^2 \cdot Id \qquad (8)$$

Avec $\sigma_A{}^2$ la puissance des symboles de modulation, $\sigma_W{}^2$ la puissance du bruit et Id la matrice identité

- on définit la matrice Q par

$$Q = H_k^{\dagger} R_B^{-1} H_k + \frac{1}{\sigma_W{}^2} Id \qquad (9)$$

- on réalise la composition de Cholesky de cette matrice

$$Q = (\Sigma L)^{\dagger}(\Sigma L) \qquad (10)$$

dans l'équation (10), Σ est une matrice diagonale et L une matrice triangulaire inférieure.

L'expression du filtre transverse qui minimise le critère (6) est

$$T = \Sigma^{-2} L^{-1\dagger} H_k^{\dagger} R_B^{-1} \qquad (11)$$

Le filtre récursif est déterminé par les lignes de (L-Id).

Selon un mode de réalisation de l'invention, le dispositif utilise un annuleur d'interférences lorsque l'ensemble des symboles à démoduler a fait l'objet d'au moins un décodage. Dans cette situation, à la différence de l'égaliseur à décision dans la boucle, lorsque l'on cherche à décider le symbole j de l'utilisateur k, l'ensemble des autres symboles du même utilisateur ou des autres utilisateurs peuvent être considérés comme connus, même si dans la pratique seules les estimées de ces symboles sont connues. Il est alors possible de retrancher totalement leur contribution.

La figure 6 schématise le principe de cet annuleur.

Par rapport au cas de l'égaliseur à décision dans la boucle de la figure 5, on dispose de plus d'informations sur tous les symboles provenant de l'itération i-1 pour certains utilisateurs, par exemple ceux d'indice 1 à k-1 et de l'itération i courante pour les d'autres utilisateurs d'indice k+1 à K.

Le principe mis en œuvre consiste à :

- retrancher les contributions de tous les utilisateurs autres que l'utilisateur k en train d'être traité, en utilisant l'information la plus récente pour chacun d'eux, pour les utilisateurs d'indice 1 à k-1 les estimées des vecteurs des symboles lors de l'itération i et pour les utilisateurs d'indice

k+1 à K l'information des estimées obtenues lors de l'itération (i-1), ceci étant réalisé dans le premier bloc 20 qui génère un vecteur U,

- filtrer les échantillons reçus pour l'utilisateur k dans le filtre T 22, le vecteur V résultant est ensuite échantillonné par exemple au rythme symbole,
- retrancher dans le deuxième bloc 21, pour un symbole n donné l'interférence inter-symbole résiduelle provenant des autres symboles de l'utilisateur k. La contribution des symboles 1 à n-1 sont déterminés par le filtre P_n , 26 et celle des symboles d'indice n+1 à N par un filtre Q_n, 27.

De cette façon par rapport à la boucle de décision, on dispose d'une information beaucoup plus riche que les symboles décidés précédents, à savoir des informations sur les symboles passés mais aussi futurs provenant de l'itération précédente.

Après les étapes de traitement, on passe à l'étape de décodage, puis on considère l'utilisateur suivant et la contribution de l'utilisateur k est retranchée en utilisant les résultats obtenus au cours de l'itération i et non plus i-1.

Les différentes étapes d'égalisation et de décodage peuvent avantageusement être apliquées sur un ensemble d'utilisateurs qui sont ordonnés selon un critère tenant compte de la puissance liée à un utilisateur à laquelle est retranchée la contribution des interférences intersymboles pour ce même utilisateur et pour les autres utilisateurs.

Ce critère est déterminé par exemple de la manière suivante :

- h_{kl} désigne la lième colonne de la matrice H_k décrite en relation avec la figure 4. Ce vecteur désigne en fait la réponse impulsionnelle globale du canal pour le lième symbole du bloc à démoduler de l'utilisateur k,
- le critère C_k est déterminé de la manière suivante

$$C_k = \sum_{n=1}^{N} \left(h_{k,n}{}^{\dagger} h_{k,n} - \sum_{m \neq n} \left| h_{k,n}{}^{\dagger} h_{k,m} \right| - \sum_{j \neq k} \sum_{m} \left| h_{k,n}{}^{\dagger} h_{j,m} \right| \right)$$

où le symbole † désigne le conjugué transposé

le premier terme correspond à la puissance liée à l'utilisateur k, le deuxième terme la contribution de l'utilisateur et le troisième terme la contribution aux interférences intersymboles pour tous les autres utilisateurs.

Ce calcul fait intervenir les corrélations entre les signaux correspondant aux différents symboles qu'ils soient émis par l'utilisateur k lui-même ou par les autres.

En fait la méthode mesure la distance existante au minimum entre deux symboles opposés en sortie d'un filtre adapté à la réponse impulsionnelle h_{kn}, quelles que soient les valeurs des autres symboles qui interférent.

Les utilisateurs sont rangés dans un ordre décroissant avant de mettre les étapes du procédé selon l'invention.

REVENDICATIONS

1 – Dispositif d'égalisation et de décodage de signaux numériques de K utilisateurs, comportant K modules, chaque module comportant un égaliseur relié à un décodeur caractérisé en ce qu'un égaliseur de rang k est relié à plusieurs décodeurs de rang inférieur 1 à k-1.

2 – Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'un égaliseur comporte deux blocs (20) et (21), le premier bloc (20) reçoit au moins le signal à démoduler de l'utilisateur k et les estimées des symboles associés aux utilisateurs 1 à k-1 et le deuxième bloc (21) est adapté à retrancher la contribution des symboles passés déjà démodulés.

3 – Dispositif selon la revendication 2 caractérisé en ce que le premier bloc (20) reçoit à une ième itération, au moins le signal de l'utilisateur k à démoduler, au moins les estimées des symboles associés aux utilisateurs 1 à k-1 correspondant à la ième itération et les estimées des symboles des utilisateurs k+1 à K obtenues à la (i-1)ième itération et le deuxième bloc (21) les estimées des symboles de l'utilisateur k obtenues à la (i-1)ième itération.

4 – Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif adapté à déterminer un critère pour ordonner les utilisateurs avant de transmettre les signaux au module d'égalisation et de décodage, le critère tenant compte de la puissance de l'utilisateur k ainsi que des interférences intersymboles pour l'utilisateur k lui-même et les autres utilisateurs.

5 - Procédé d'égalisation et de décodage de signaux numériques de K utilisateurs dans un récepteur comportant plusieurs modules comportant

chacun au moins un égaliseur suivi d'un décodeur caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :

a) à l'itération 1, pour l'utilisateur d'indice 1 transmettre le signal à démoduler à un égaliseur de rang 1 puis à un décodeur de rang 1 afin d'obtenir des symboles modulés estimés de l'utilisateur k, et

b) pour les utilisateurs k d'indice différent de 1, transmettre le signal à démoduler à un égaliseur de rang k et les différents symboles modulés estimés issus d'au moins un des décodeurs de rang (k-1).

6 - Procédé d'égalisation et de décodage selon la revendication 5 caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs itérations et en ce que pour une itération différente de la première itération, l'étape b) consiste au cours d'une ième itération à transmettre à un premier bloc de l'égaliseur de rang k les symboles de l'utilisateur k à démoduler, les estimées des symboles des utilisateurs 1 à k-1 obtenues au cours de la ième itération et les estimées des symboles des utilisateurs k+1 à K obtenues au cours de la (i-1)ième itération et à un deuxième bloc de l'égaliseur les estimées des symboles de l'utilisateur k issues de la (i-1)ième itération.

7 – Procédé selon l'une des revendications 5 à 6 caractérisé en ce qu'il comporte une étape où les utilisateurs k sont ordonnés avant d'être traités selon un critère tenant compte de la puissance liée à l'utilisateur k corrigée de la contribution des intersymboles lié à lui-même et aux autres utilisateurs.

8 – Procédé selon la revendication 7 caractérisé en ce que le critère pour ordonner les utilisateurs est déterminé de la manière suivante

$$C_k = \sum_{n=1}^{N} \left(h_{k,n}{}^{\dagger} h_{k,n} - \sum_{m \neq n} \left| h_{k,n}{}^{\dagger} h_{k,m} \right| - \sum_{j \neq k} \sum_{m} \left| h_{k,n}{}^{\dagger} h_{j,m} \right| \right)$$

où h_{kl} désigne la lième colonne d'une matrice H_k construite à partir du vecteur contenant les échantillons du signal de l'utilisateur k, n l'indice temporel du symbole codé.

9 – Utilisation du dispositif selon l'une des revendications 1 à 4 et du procédé selon l'une des revendications 5 à 8 pour démoduler un signal dans un cadre d'accès multiple à répartition spatiale et/ou une répartition par codes de type CDMA.

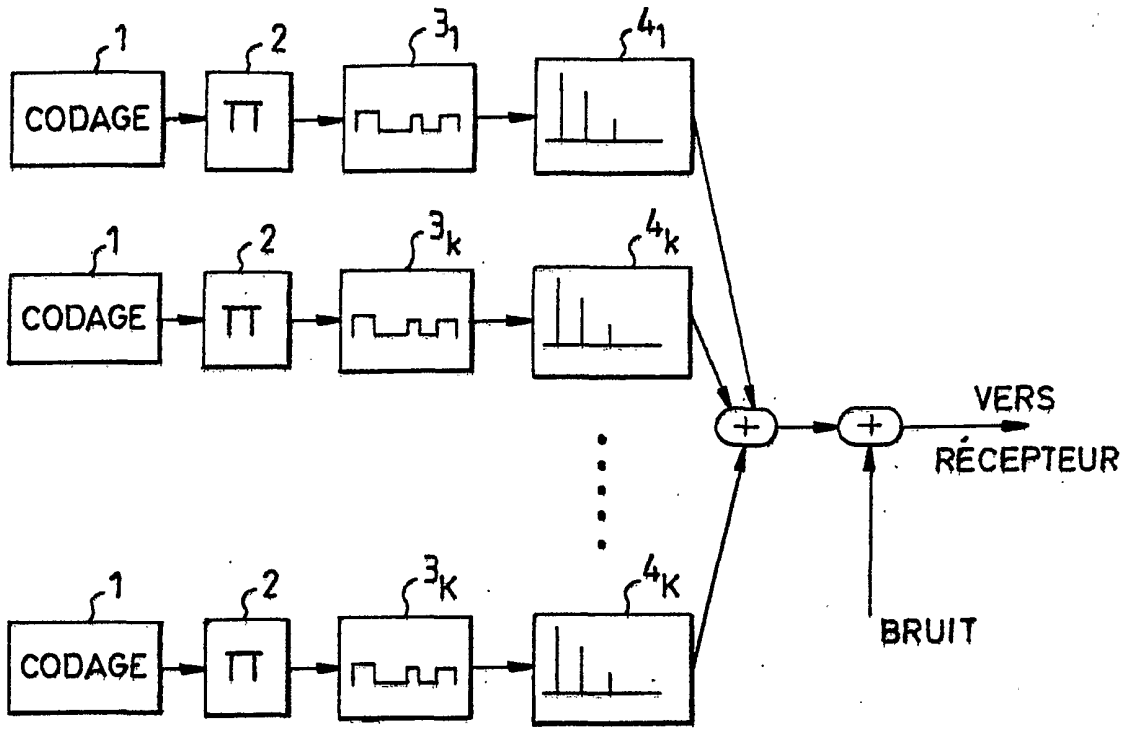

1
2
3₁
4₁
CODAGE
TT
3k
4k
3K
4K
VERS
RÉCEPTEUR
BRUIT

FIG.1

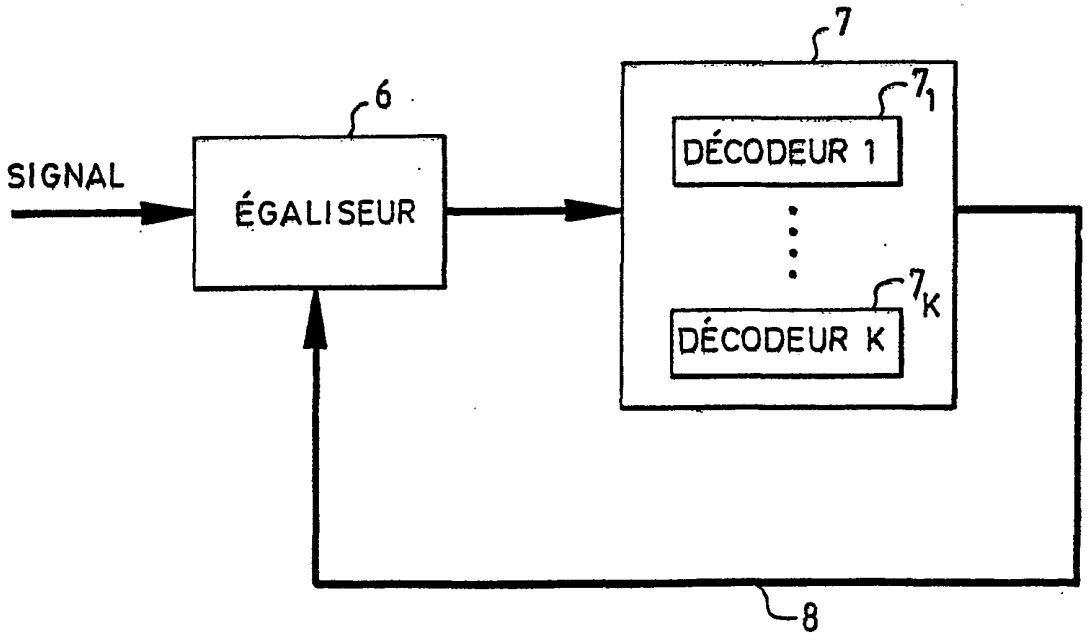

7
7₁
6
SIGNAL
ÉGALISEUR
DÉCODEUR 1
7K
DÉCODEUR K
8

FIG.2

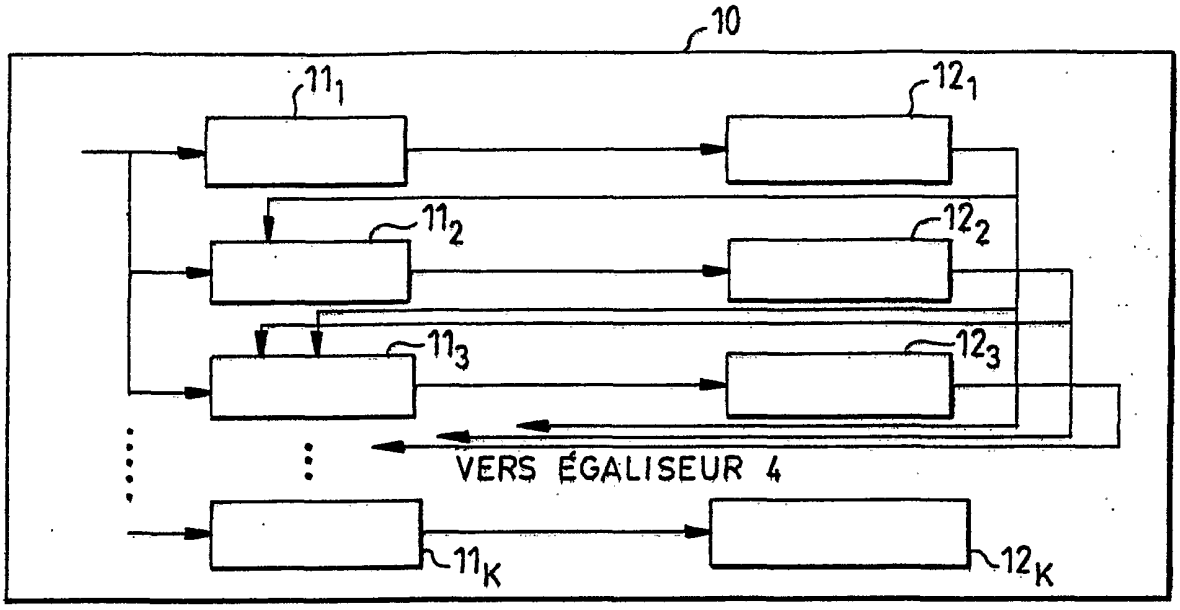
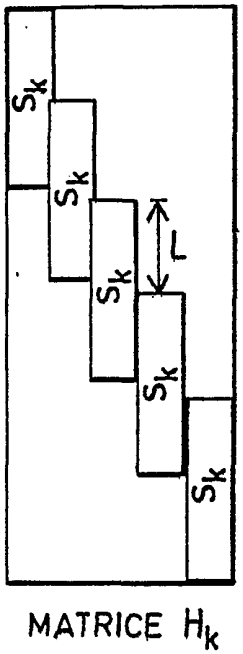


FIG.3



L: NOMBRE D'ÉCHANTILLONS PAR SYMBOLE

FIG.4

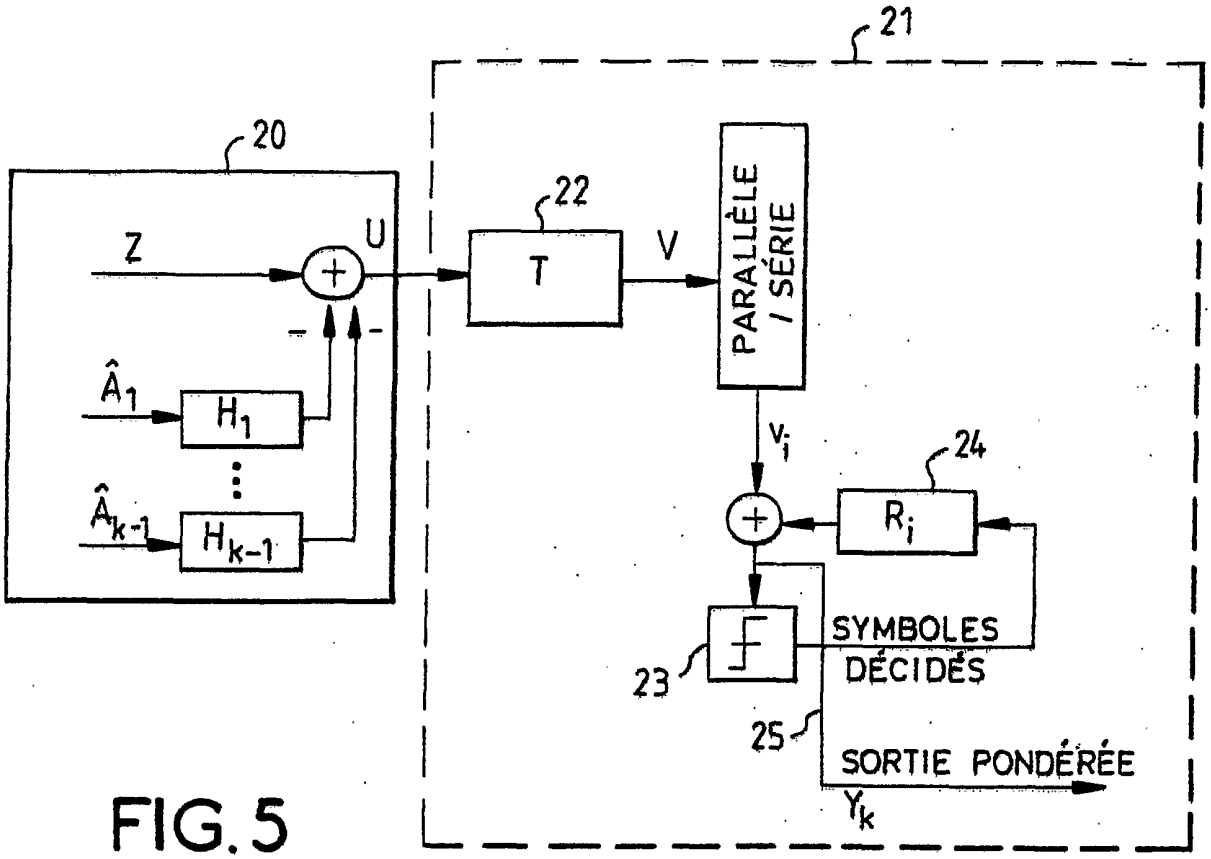

21
20
22
Z
U
T
V
PARALLÈLE / SÉRIE
$\hat{A}_1$
H_1
$\hat{A}_{k-1}$
H_{k-1}
v_i
24
R_i
SYMBOLES DÉCIDÉS
23
25
SORTIE PONDÉRÉE
Y_k

FIG.5

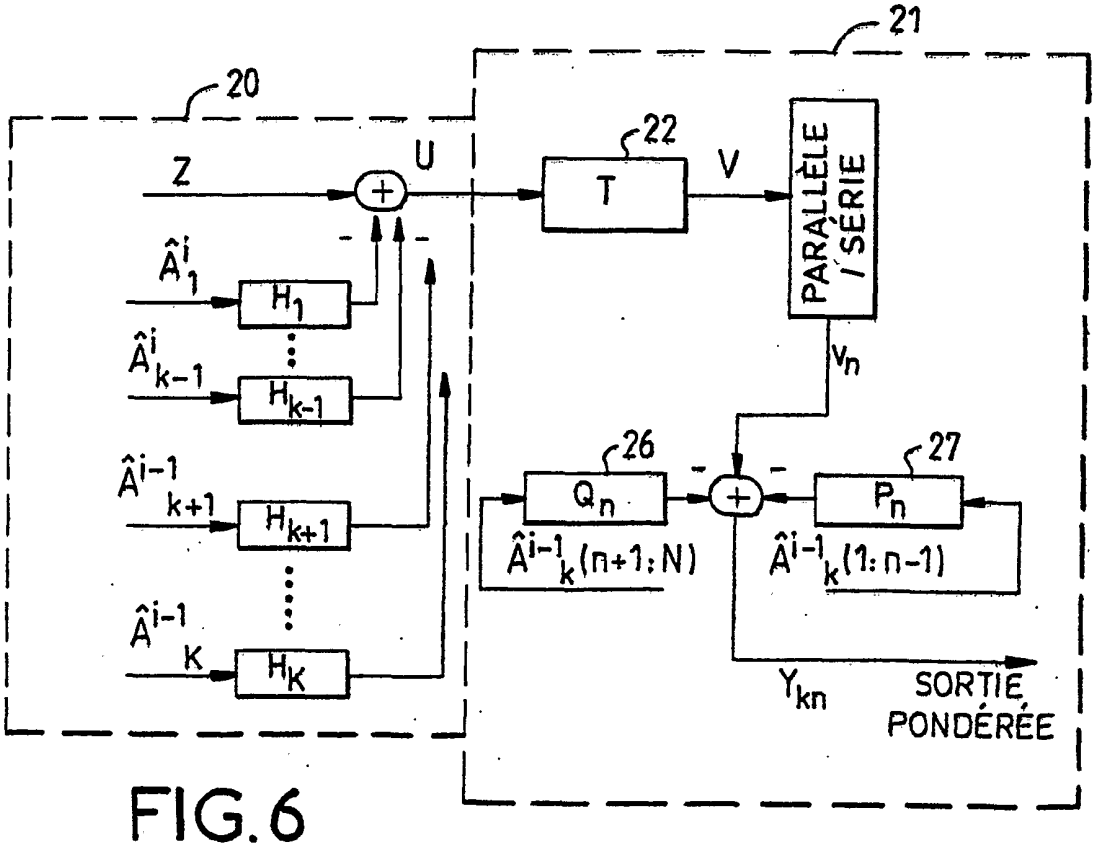

21
20
22
Z
U
T
V
PARALLÈLE / SÉRIE
$\hat{A}^i_1$
H_1
$\hat{A}^i_{k-1}$
H_{k-1}
$\hat{A}^{i-1}_{k+1}$
H_{k+1}
$\hat{A}^{i-1}_{K}$
H_K
v_n
26
Q_n
27
P_n
$\hat{A}^{i-1}_k(n+1:N)$
$\hat{A}^{i-1}_k(1:n-1)$
Y_{kn}
SORTIE PONDÉRÉE

FIG.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int ional Application No
PCT/FR 01/02717

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H04B1/707

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DUEL-HALLEN A: "A FAMILY OF MULTIUSER DECISION-FEEDBACK DETECTORS FOR ASYNCHRONOUS CODE-DIVISION MULTIPLE-ACCESS CHANNELS" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS,US,IEEE INC. NEW YORK, vol. 43, no. 2/04, PART 01, 1 February 1995 (1995-02-01), pages 421-434, XP000506554 ISSN: 0090-6778	1-3,5,6, 9
A	abstract page 421, column 2, paragraph 2 -page 423, column 1, paragraph 2 page 425, column 1, paragraph 2 -column 2, paragraph 2; figure 2 page 426, column 2, paragraph 2 - paragraph 3 page 427, column 1, paragraph 3 -column 2, paragraph 3	4,7,8
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
24 January 2002	31/01/2002

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Ó Donnabháin, E

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication,where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	page 428, column 1, paragraph 2	
A	KLEIN A ET AL: "ZERO FORCING AND MINIMUM MEAN-SQUARE-ERROR EQUALIZATION FOR MULTIUSER DETECTION IN CODE-DIVISION MULTIPLE-ACCESS CHANNELS" IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY,US,IEEE INC. NEW YORK, vol. 45, no. 2, 1 May 1996 (1996-05-01), pages 276-287, XP000598095 ISSN: 0018-9545 cited in the application abstract Section I. Introduction Section III. C Section III. E page 284, column 2, line 10 -page 285, column 1, line 4 figure 3 Section V. Conclusion	1-9
A	US 5 414 699 A (LEE EDWARD K B) 9 May 1995 (1995-05-09) abstract column 10, line 35 - line 51	1-9

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int tional Application No
PCT/FR 01/02717

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5414699 A	09-05-1995	AU 1664195 A	18-04-1995
		BR 9407664 A	28-01-1997
		CN 1132010 A ,B	25-09-1996
		EP 0721713 A1	17-07-1996
		JP 9503362 T	31-03-1997
		JP 3208776 B2	17-09-2001
		WO 9509493 A1	06-04-1995

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De de Internationale No
PCT/FR 01/02717

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H04B1/707

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 H04B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DUEL-HALLEN A: "A FAMILY OF MULTIUSER DECISION-FEEDBACK DETECTORS FOR ASYNCHRONOUS CODE-DIVISION MULTIPLE-ACCESS CHANNELS" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS,US,IEEE INC. NEW YORK, vol. 43, no. 2/04, PART 01, 1 février 1995 (1995-02-01), pages 421-434, XP000506554 ISSN: 0090-6778	1-3,5,6, 9
A	abrégé page 421, colonne 2, alinéa 2 -page 423, colonne 1, alinéa 2 page 425, colonne 1, alinéa 2 -colonne 2, alinéa 2; figure 2 page 426, colonne 2, alinéa 2 - alinéa 3 page 427, colonne 1, alinéa 3 -colonne 2, alinéa 3 page 428, colonne 1, alinéa 2	4,7,8

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'inven tion revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'inven tion revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
24 janvier 2002	31/01/2002

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Ó Donnabháin, E

1

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec,le cas échéant, l'indicationdes passages pertinents	no. des revendications visées
A	KLEIN A ET AL: "ZERO FORCING AND MINIMUM MEAN-SQUARE-ERROR EQUALIZATION FOR MULTIUSER DETECTION IN CODE-DIVISION MULTIPLE-ACCESS CHANNELS" IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY,US,IEEE INC. NEW YORK, vol. 45, no. 2, 1 mai 1996 (1996-05-01), pages 276-287, XP000598095 ISSN: 0018-9545 cité dans la demande abrégé Section I. Introduction Section III. C Section III. E page 284, colonne 2, ligne 10 -page 285, colonne 1, ligne 4 figure 3 Section V. Conclusion	1-9
A	US 5 414 699 A (LEE EDWARD K B) 9 mai 1995 (1995-05-09) abrégé colonne 10, ligne 35 - ligne 51	1-9

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs membres de familles de brevets

De e internationale No
PCT/FR 01/02717

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5414699 A	09-05-1995	AU 1664195 A	18-04-1995
		BR 9407664 A	28-01-1997
		CN 1132010 A ,B	25-09-1996
		EP 0721713 A1	17-07-1996
		JP 9503362 T	31-03-1997
		JP 3208776 B2	17-09-2001
		WO 9509493 A1	06-04-1995