

Utilisation de filtres linéaires périodiques lors d'un accès multi-utilisateurs en MF-TDMA

Alban DUVERDIER¹, Niels AAKVAAG², Bernard LACAZE³

¹CNES

18 av. Belin BPI 2012, 31401 Toulouse Cedex 4, France

Alban.Duverdier@cnes.fr

²ABB Corporate Research

Bergerveien 12, PO Box 90, N-1375 Billingstad, Norvège

niels.aakvaag@no.abb.com

³TéSA/ENSEEIH

2 rue Camichel BP7122, 31071 Toulouse Cedex 7, France

lacaze@len7.enseeiht.fr

Résumé – Le travail présenté dans cet article propose une solution innovante pour faire évoluer de façon simple un système conçu pour de l'accès en MF-TDMA vers un accès semblable à du CDMA. Il est proposé de ne pas modifier les chaînes d'émission et de réception, mais de leur rajouter de l'étalement spectral en utilisant des filtres linéaires périodiques, implémentés par le biais de changements d'horloge périodiques. Cette méthode ressemble à du CDMA dans la mesure où l'information transmise par plusieurs utilisateurs se chevauche en fréquence et en temps et que la reconstruction se fait par la signature particulière de chaque utilisateur qui correspond dans ce cas particulier au filtre associé à chaque utilisateur.

Abstract – This article presents a novel approach to change an MF-TDMA system into one resembling CDMA. It is proposed to simply add two elements, a linear periodic time varying filter and its inverse, to perform the desired spectral spreading. The former is implemented by means of periodic clock changes. The method thus resembles CDMA in that information transmitted from several users on the air interface overlaps both in time and frequency, and that it is recoverable using a signature, in this case a particular filter, associated with each user.

1. Introduction

Les filtres linéaires périodiques [1] sont utilisés aujourd'hui en télécommunications pour de la transmission [2], de la modélisation de canal [3], du brouillage [4] ou de l'accès multiple [5]. Cet article, après avoir rappelé les principales notions les concernant, propose de les utiliser lorsque la liaison a été conçue pour un accès multi-utilisateurs en MF-TDMA et applique cette nouvelle solution à un cas concret. Elle permet d'introduire de la diversité en fréquence tout en conservant l'essentiel de la structure d'émission et de réception.

Dans une première partie, nous rappelons la définition d'un filtre linéaire périodique, sa mise en œuvre à l'aide de changements d'horloge périodiques [6] et la reconstruction d'un signal soumis à un tel filtre. Puis, nous récapitulons les différentes techniques d'accès utilisées aujourd'hui, ainsi que celle basée sur les filtres linéaires périodiques, technique que nous proposons d'utiliser simplement dans une transmission avec accès multi-utilisateurs en MF-TDMA. Finalement, nous appliquons la solution proposée dans un cas réel.

2. Filtres linéaires périodiques

2.1 Définitions

Soit $Z(t)$ un processus aléatoire stationnaire de moyenne nulle et continu en moyenne quadratique. On note $\Theta_Z(\omega)$ sa représentation spectrale au sens de Cramer-Loève telle que :

$$Z(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\omega t} d\Theta_Z(\omega) \quad (1)$$

\hat{h} est un filtre linéaire périodique variant par rapport au temps si et seulement si sa réponse $X(t)$ à un signal $Z(t)$ est donnée par :

$$X(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t, s) Z(s) ds \quad (2)$$

où $h(t, s)$, réponse impulsionnelle du filtre, admet une période $T=2\pi/\omega_0$ telle que :

$$h(t + T, s + T) = h(t, s) \quad (3)$$

Le signal en entrée de \hat{h} , $Z(t)$, subit un étalement spectral sous la forme d'une somme de filtrages invariants de $Z(t)$ à des décalages fréquentiels de $k\omega_0$ près. Le signal en sortie de \hat{h} , $X(t)$, a en effet une représentation spectrale égale à :

$$d\Theta_X(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \psi_k(\omega - k\omega_0) d\Theta_Z(\omega - k\omega_0) \quad (4)$$

avec :

$$\psi_k(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T e^{-ik\omega_0 t} \left(\int_{-\infty}^{+\infty} h(t,s) e^{-i\omega(t-s)} ds \right) dt \quad (5)$$

Ce résultat est illustré dans le cas d'un signal $Z(t)$ à bande spectrale limitée dans $\Delta = [-\omega_0/2, \omega_0/2]$ par la figure 1.

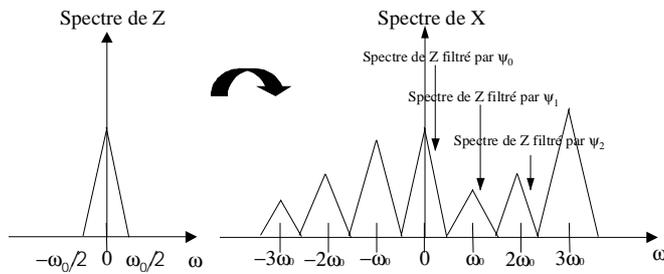


Fig. 1 : Etalage spectral lors d'un filtrage linéaire périodique

2.2 Implémentation

Les auteurs ont montré précédemment qu'une méthode simple pour implémenter des filtres linéaires périodiques consistait à utiliser des changements d'horloge périodiques sur un signal transmis par paquets [6].

Un changement d'horloge périodique est défini par sa réponse $X(t)$ à un signal $Z(t)$ telle que :

$$X(t) = g(t)Z(t - f(t)) \quad (6)$$

où $f(t)$ et $g(t)$ sont des fonctions périodiques en t de période $T=2\pi/\omega_0$, $f(t)$ étant réelle et $g(t)$ complexe.

2.3 Reconstruction

Supposons que $Z(t)$ est à bande spectrale limitée dans Δ et que certaines des fonctions $\psi_k(\omega)$ sont inversibles dans cet intervalle. L'équation (4) permet alors d'obtenir à partir de $X(t)$ de multiples reconstructions sans erreurs de $Z(t)$:

$$\forall \omega \in \Delta, \quad d\Theta_Z(\omega) = \psi_k^{-1}(\omega) d\Theta_X(\omega + k\omega_0) \quad (7)$$

3. Proposition d'une nouvelle technique d'accès

3.1 Techniques d'accès classiques

En transmission multi-utilisateurs, il existe trois techniques classiques qui utilisent au mieux la largeur de bande spectrale disponible [7] :

- l'accès multiple par division temporelle (TDMA) permet de transmettre par paquets chaque utilisateur,
- l'accès multiple par division de fréquence (FDMA) répartit dans des bandes de fréquence distinctes les informations relatives aux différents utilisateurs,
- l'accès multiple par codes orthogonaux (CDMA) transmet simultanément les informations provenant

des différents utilisateurs après les avoir étalées spectralement de manière à les rendre orthogonales en temps ou en fréquence.

Chacune de ces techniques possède des avantages et des inconvénients. Le TDMA permet une grande flexibilité en terme de débit, mais voit sa capacité décroître lorsque des problèmes de synchronisation apparaissent. Le FDMA a un comportement opposé. Le CDMA permet en plus d'une grande flexibilité de lutter efficacement contre des imperfections du canal de transmission (interférences, évanouissements...), mais voit sa capacité décroître lorsque des problèmes de synchronisation apparaissent. Ainsi, ces différentes techniques sont parfois combinées pour optimiser flexibilité et capacité. En particulier, le MF-TDMA correspond à une combinaison du TDMA et du FDMA où chaque utilisateur est transmis par paquets sur différentes bandes fréquentielles comme le montre la figure 2.

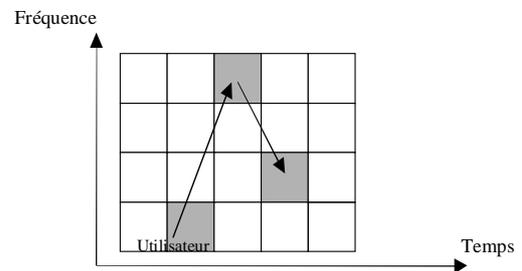


Fig. 2 : Accès multiple en MF-TDMA

3.2 Accès multiple par filtres linéaires périodiques

Les auteurs ont proposé récemment une solution d'accès multiple par filtres linéaires périodiques qui correspond à une forme particulière de CDMA où chaque utilisateur au lieu d'être multiplié par un code est filtré par un filtre linéaire périodique [6]. Pour des utilisateurs U_i , à bande spectrale limitée dans Δ , la bande de transmission est alors divisée en sous-bandes. Chacune d'elles contient la somme des spectres des utilisateurs filtrés par les filtres invariants $(\psi_k(\omega))_i$. Cela est illustré par la figure 3.

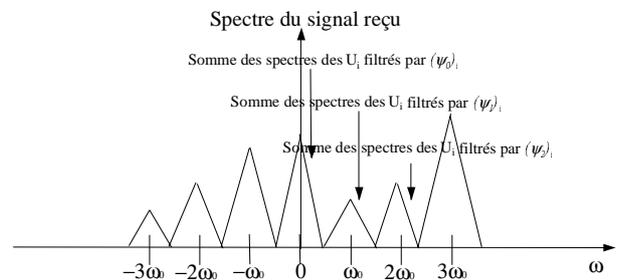


Fig. 3 : Accès multiple par filtres linéaires périodiques

Pour permettre la reconstruction de tous les utilisateurs, les filtres linéaires $(\hat{h})_i$ sont choisis de manière à ce que les $(\psi_k(\omega))_i$ présentent des propriétés d'orthogonalité.

3.3 MF-TDMA et accès multiple par filtres linéaires périodiques

Même si les solutions basées sur le CDMA présentent l'avantage de lutter efficacement contre des imperfections du canal de transmission (interférences, évanouissements...), beaucoup de systèmes font toujours appel aujourd'hui au MF-TDMA pour des raisons historiques ou de coût de mise en œuvre. Il est donc particulièrement intéressant de rechercher des techniques pour faire évoluer un accès en MF-TDMA vers une forme de CDMA sans remettre en cause le système existant.

Nous venons de voir que la mise en œuvre d'un accès multiple par filtres linéaires périodiques peut être réalisée par paquets lorsque des changements d'horloge périodiques sont utilisés et qu'elle est basée sur un découpage en plusieurs bandes de fréquence. Comme le MF-TDMA, cette solution fonctionne donc pour une transmission par paquets avec un découpage fréquentiel. Les points communs des deux méthodes ouvrent la voie à l'introduction d'une technique d'accès de type CDMA dans un système conçu pour du MF-TDMA : on ajoute un étalement spectral à l'aide de filtres linéaires périodiques à la fin d'une chaîne en MF-TDMA comme le montre la figure 4.

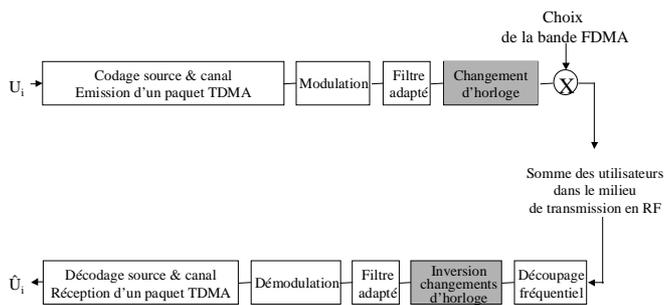


Fig. 4 : Accès multiple par MF-TDMA et filtres linéaires périodiques

On reconnaît une chaîne MF-TDMA classique avec deux blocs supplémentaires en grisé, l'un en émission et l'autre en réception. En émission, nous proposons d'ajouter un simple changement d'horloge périodique dont la fonction est définie pour chaque utilisateur. En réception, l'inversion des changements d'horloge périodiques est nécessaire. Elle correspond à des filtrages invariants sur les signaux obtenus en sortie du découpage fréquentiel, ces deux opérations pouvant être menées simultanément.

L'intérêt immédiat de cette solution est de présenter un faible coût d'implantation, tout en apportant les avantages du CDMA. De plus, elle est modulable. En effet, il est possible de ne décider de réaliser cet étalement que pour les utilisateurs de certaines bandes.

4. Application

4.1 Chaîne simulée

A titre d'illustration, on simule une chaîne de transmission en MF-TDMA pour des paquets de 53 octets avec 4 porteuses en QPSK filtrées SRC de roll-off 0.35. Deux des utilisateurs sont soumis aux filtres linéaires périodiques $(h)_1$ et $(h)_2$ définis par les changements d'horloge de fonctions respectives $\sin(\omega_1 t)$ et $-\sin(\omega_2 t)$.

4.2 Spectres observés

Lorsque le MF-TDMA est transmis sans filtrage linéaire périodique, on observe classiquement un spectre correspondant à un signal multi-porteuses comme l'illustre la figure 5.

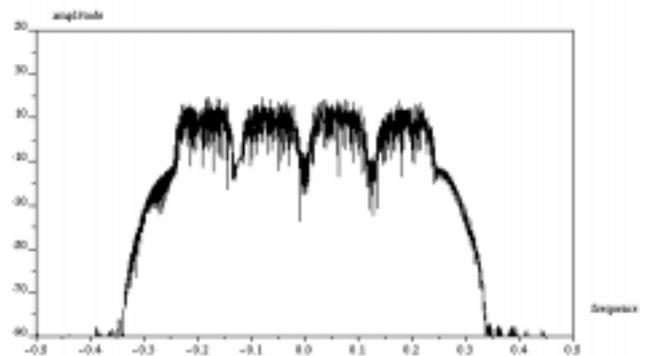


Fig. 5 : Spectre du signal en MF-TDMA sans filtrage linéaire périodique

Lorsque le MF-TDMA est transmis avec filtrage linéaire périodique sur les deux porteuses centrales, le spectre du signal multi-porteuses perd son aspect régulier comme le présente la figure 6.

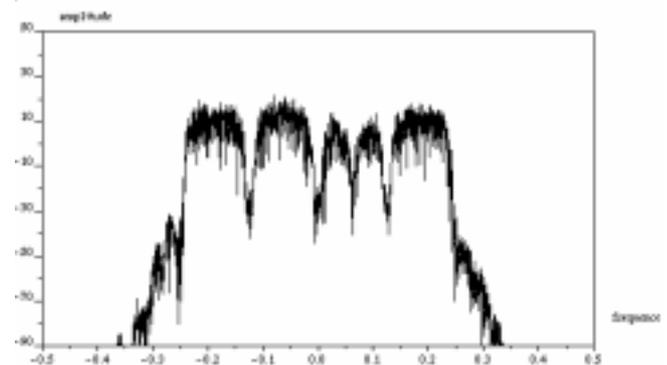


Fig. 5 : Spectre du signal en MF-TDMA avec filtrage linéaire périodique

4.3 Reconstructions

Les figures 6 et 7 montrent, dans un cas sans bruit, le signal original et le signal reconstruit d'un des deux signaux soumis aux filtres linéaires périodiques sur une partie d'un paquet. On constate qu'après sous-échantillonnage,

l'information peut être retrouvée sans erreurs. Notre solution est donc qualitativement validée.

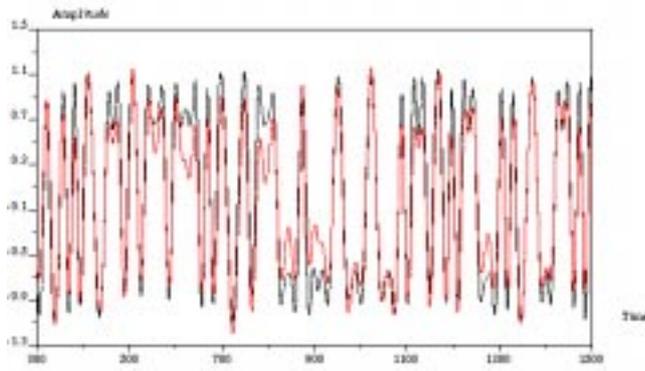


Fig. 6 : Reconstruction après transmission en MF-TDMA avec filtrage linéaire périodique (partie réelle)

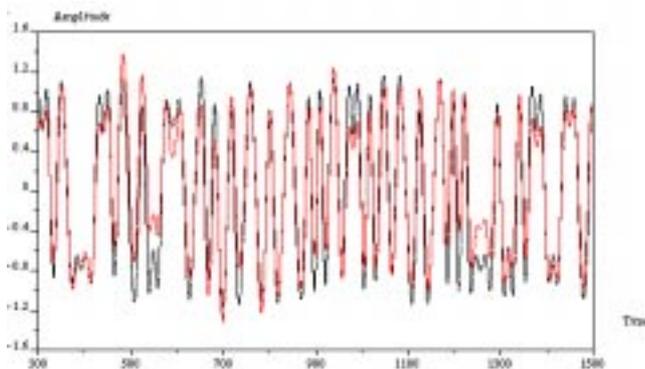


Fig. 7 : Reconstruction après transmission en MF-TDMA avec filtrage linéaire périodique (partie imaginaire)

Nos prochains travaux sur le sujet consisteront à dimensionner quantitativement les dégradations introduites par cette solution.

5. Conclusion

Cet article a proposé une méthode originale d'accès multi-utilisateurs qui permet de réaliser de l'étalement spectral avec une chaîne de transmission conçue pour du MF-TDMA. Cette solution évite un changement complet de système tout en introduisant de la diversité en fréquence.

Références

- [1] L.E. Franks, "Polyperiodic linear filtering" in *Cyclostationarity in Communications and Signal Processing*, W.A. Gardner ed., IEEE Press, 1993
- [2] A. Papoulis, *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, McGraw-Hill, 1965
- [3] R.G. Gallager, *Information Theory and Reliable Communication*, Wiley, 1968
- [4] A. Duverdier, B. Lacaze and N.D. Aakvaag, "A Novel Approach to Spread Spectrum Communication Using

Linear Periodic Time-Varying Filters", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1133, Springer-Verlag, 1996

- [5] A. Duverdier and B. Lacaze, "Transmission of two users by means of periodic clock changes", *ICASSP*, Seattle, USA, 1998
- [6] A. Duverdier and B. Lacaze, " On the use of periodic clock changes to implement linear periodic time-varying filters ", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol. 47 n°11, IEEE, 2000
- [7] R. A. Meyers, *Encyclopedia of Telecommunications*, Academic Press, 1989