HAL
open science

Allocation des ressources basée sur le précodage linéaire pour les systèmes OFDM multicast

Ali Maiga, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard

To cite this version:

Ali Maiga, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard. Allocation des ressources basée sur le précodage linéaire pour les systèmes OFDM multicast. GRETSI, Sep 2009, Dijon, France. pp.ID344. hal-00444423

HAL Id: hal-00444423

https://hal.science/hal-00444423v1

Submitted on 6 Jan 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Allocation des ressources basée sur le précodage linéaire pour les systèmes OFDM multicast

Ali Maiga, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard

Laboratoire IETR
20, avenue des Buttes de Coesmes- CS 14315, 35043 Rennes Cedex, France
{ali.maiga, jean-yves.baudais, jean-francois.helard}@insa-rennes.fr

Résumé – Dans ce papier, nous proposons une nouvelle méthode d'allocation de ressources basée sur la technique de précodage linéaire pour les systèmes OFDM multicast dans le contexte CPL. Cette technique, appliquée aux systèmes OFDM, apporte un gain significatif de débit sur les lignes d'énergie. La comparaison avec la méthode multicast conventionnelle réalisée par simulation sur des canaux CPL montre un apport de gain allant jusqu'à 22%.

Abstract – In this paper, we propose a new resource allocation method based on linear precoding technique for OFDM multicast system in PLC context. This technique applied to OFDM systems has already proved its ability to significantly increase the system throughput over powerline. In multicast OFDM systems, simulations run over PLC channels show a bit rate gain up to 22% compared to the conventional multicast bit rate.

1 Introduction

Développés à l'origine dans le cadre d'applications bas débit de télémétrie, de contrôle d'infrastructure ou encore de mesure de communication, les communications par courant porteur en ligne (CPL) connaissent depuis peu un regain d'intérêt manifeste au sein de la communauté scientifique. Les avancées importantes réalisées ces dernières années sur les techniques de modulation et de traitement du signal permettent en effet aujourd'hui d'envisager l'utilisation du réseau électrique pour le développement des réseaux domestiques et l'acheminement de données multimédias à haut débit. La demande pour les services multimédias tels que la vidéo et l'audio conférence, les jeux en ligne est croissante sur le réseau CPL.

Actuellement, ces services multimédias sont acheminés séparément aux utilisateurs utilisant le même service, menant ainsi à une duplication des données, une perte de temps et de bande passante. Le multicast offre dans ce cas une réelle amélioration car il permet de transmettre un paquet de données à plusieurs utilisateurs en une seule fois, utilisant ainsi moins de ressources [1]. Le canal CPL, considéré comme quasi statique, encourage l'exploitation de l'information du canal au niveau de l'émetteur. Cependant la différence de canaux entre les différents utilisateurs rend complexe l'allocation des ressources car chaque utilisateur en mode multicast doit satisfaire ses besoins. La méthode conventionnelle en OFDM multicast (orthogonal frequency division multiplex) consiste à s'aligner sur le plus « mauvais » utilisateur pour faire l'allocation des bits. In fine, cette méthode réduit le débit total lorsque le nombre d'utilisateurs augmente.

Afin d'augmenter le débit total en multicast, les utilisateurs sont séparés en fonction leurs canaux. Les données multicast sont compressées en plusieurs couches suivant une hiérarchie de qualités [1-2]. Ainsi, l'utilisateur avec un « mauvais » canal recevra les couches basses, qui produiront une donnée de qualités moindres et les utilisateurs recevant les couches hautes auront des données de meilleures qualités.

Dans ce papier, nous proposons un algorithme d'allocation des ressources afin d'augmenter le débit multicast sans hiérarchiser les données. Cet algorithme a pour but d'allouer les sous-porteuses, les bits et est basé sur la technique du précodage linéaire (LP, *linear precoding*). Due à la contrainte de densité spectrale de puissance (DSP) en CPL, tous les utilisateurs ont la même contrainte de DSP sur chaque sous-porteuse et il n'y a pas d'allocation de puissance. Le système LP-OFDM résulte de la combinaison de modulations multiporteuses et de technique à étalement de spectre. L'intérêt de ce système est de pouvoir regrouper les sous-porteuses de la modulation OFDM afin d'accroître les débits de transmission. Elle a apporté un gain significatif de débit comparée à la modulation OFDM dans le contexte CPL [3].

2 Le système LP-OFDM

L'utilisation conjointe de l'OFDM et de l'étalement de spectre peut donner lieu à un grand nombre de variantes, regroupées sous l'appellation générique MC-SS (*multicar-*

rier spread spectrum). Dans notre étude, la composante de précodage est appliquée avant la modulation OFDM et consiste à multiplexer différents symboles de données d'un même utilisateur. Les symboles multiplexés sont transmis par sous-ensembles de sous-porteuses qui sont connectées entre elles par des séquences de précodage. La matrice des séquences de précodage est composée de matrices d'Hadamard. Dans la suite, les sous-ensembles seront appelés blocs et les sous-porteuses dans chaque bloc ne sont pas forcement adjacentes. Le nombre B de blocs est le rapport entre le nombre total N de sous-porteuses et le nombre L de sous-porteuses par bloc. Pour simplifier, on suppose une taille de bloc fixe pour tous les utilisateurs. Le système classique OFDM s'obtient pour $L = 1$. Si le regroupement des sous-porteuses est judicieusement fait, chaque bloc résultant conduit à un rapport signal à bruit (RSB) équivalent tel que le débit total transmis est supérieur à la somme des débits transmis par chaque sous-porteuse séparément.

Les expressions suivantes sont tirées de [3]. Le débit total réalisé par un système LP-OFDM sur le b-ième bloc S_b s'écrit

$$\mathcal{R}_b = L \log_2 \left(1 + \frac{1}{\Gamma} \frac{L}{\sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_n|^2}} \frac{E}{N_0} \right), \tag{1}$$

où E est la contrainte de DSP, Γ la marge de RSB, N_0 le niveau du bruit de fond et $|h_n|^2$ le gain du canal sur la sous-porteuse n. Pour les systèmes réels, un nombre entier de bits est alloué à chaque symbole précodé, et le débit total sur le bloc devient

$$R_b = L \lfloor R_b/L \rfloor + \left\lfloor L \left(2^{\mathcal{R}_b/L - \lfloor \mathcal{R}_b/L \rfloor} - 1 \right) \right\rfloor . \tag{2}$$

Choix des L sous-porteuses Afin de maximiser le débit $\mathcal{R}_b$, il suffit de minimiser la somme $\sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_n|^2}$. Cela revient à choisir les sous-porteuses avec les meilleurs gains $|h_n|^2$. Une solution simple est de classer les sous-porteuses par ordre décroissant de leur gain et de constituer les blocs avec les sous-porteuses successives ainsi classées.

3 Maximisation du débit en multicast

Le multicast est une méthode qui permet de délivrer une même donnée à plusieurs utilisateurs à travers une seule transmission. L'allocation des ressources doit donc tenir compte de l'état du canal de chaque utilisateur. La méthode classique LCG (*low channel gain*, [1]) est une méthode simple qui permet d'allouer l'information multicast tout en satisfaisant les qualités de service des usagers. Avec cette méthode, un canal équivalent est défini à partir de la combinaison des différents canaux des utilisateurs. Soit $|h_n^{\text{eq}}|^2$ le gain du canal équivalent sur la sous-porteuse n, on a alors

$$|h_n^{\text{eq}}|^2 = \min_u |h_{u,n}|^2 \tag{3}$$

où $|h_{u,n}|^2$ est le gain du canal de l'utilisateur u sur la sous-porteuse n. Avec un système OFDM, le nombre de bits alloués à la sous-porteuse n avec cette méthode LCG dans le contexte CPL s'écrit

$$\mathcal{R}_n^{\text{LCG}} = \log_2(1 + \frac{E}{\Gamma N_0} |h_n^{\text{eq}}|^2) . \tag{4}$$

Ce nombre de bits est celui que recevrait le plus « mauvais » utilisateur sur cette sous-porteuse.

Dans le cadre du système LP-OFDM, le nombre de bits $\mathcal{R}_b$ alloués au bloc S_b en multicast sera celui du plus « mauvais » utilisateur sur ce bloc. Ce nombre de bits sur le bloc S_b s'écrit

$$\mathcal{R}_b^{\text{LP}} = \min_u \mathcal{R}_{u,b} = \min_u L \log_2 \left(1 + \frac{1}{\Gamma} \frac{L}{\sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2}} \frac{E}{N_0} \right) . \tag{5}$$

Le but étant de maximiser le débit en multicast, il s'agira donc de maximiser le nombre de bits reçus par le plus « mauvais » utilisateur sur ce bloc. Pour cela, il faut trouver une stratégie de regroupement des sous-porteuses dans les différents blocs qui maximise le nombre de bits du plus « mauvais » utilisateur. Comme,

$$\min \ \mathcal{R}_{u,b} \ \Leftrightarrow \ \max \sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2}$$

le problème d'optimisation s'écrit

$$\min_{S_b} \ \max_u \ \sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2} . \tag{6}$$

Nous somme en présence d'un problème min-max-sum qui est un problème NP-difficile d'allocation des ressources [4].

4 Solutions du problème d'optimisation

4.1 Solution combinatoire

La méthode basique de résolution du problème de regroupement des sous-porteuses en blocs est de tester toutes les possibilités et de choisir le meilleur cas. Dans le calcul du débit en LP-OFDM, l'ordre des sous-porteuses dans un bloc ainsi que l'ordre des blocs n'influent pas sur le résultat final. Ainsi, le nombre total de possibilités est donné par

$$\frac{C_N^L \times C_{N-L}^L \times C_{N-2L}^L \times ... \times C_{2L}^L}{N!} = \frac{N!}{(L!)^{(\frac{N}{L})} (\frac{N}{L})!} . \tag{7}$$

Longueur L	Nombre de possibilités
4	1×10^{136}
8	378×10^{126}
16	260×10^{102}
32	3×10^{72}
64	12×10^{36}

TABLE 1 – Nombre total de possibilités pour le rangement des sous-porteuses pour $N = 128$.

Ce nombre représente le nombre total de combinaisons de L parmi N, de L parmi $N - L$ et ainsi de suite. Il est ensuite divisé par le nombre total d'arrangement des blocs. La table 1 donne le nombre de possibilités pour $N = 128$ et pour différentes valeurs de L. Cette solution donne le débit optimal en LP-OFDM multicast mais sa mise en œuvre devient vite irréalisable lorsque le nombre de sous-porteuses croît.

4.2 Exploitation du canal équivalent

Comme annoncé plus haut (paragraphe 3), le canal équivalent résulte de la combinaison des différents canaux des utilisateurs (3). En construisant ce canal, l'allocation des ressources en multicast devient équivalente à l'allocation des ressources en simple lien. La méthode LCG nous donne le débit total en simple lien dans le cadre de l'OFDM [1-2]. Afin d'augmenter le débit offert par la méthode LCG, la composante de précodage linéaire peut être utilisée sur le canal équivalent en simple lien [3]. Cette méthode sera appelée LP-LCG. Les sous-porteuses du canal équivalent sont ainsi rangées par ordre décroissant pour la formation des blocs.

Amélioration de la méthode LP-LCG

En raisonnant par bloc, on montre que pour tout $n \in S_b$ et pour tout u

$$\begin{aligned} |h_{u,n}|^2 \geq |h_n^{\mathrm{eq}}|^2 \;&\Leftrightarrow\; \max_u \sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2} \leq \sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_n^{\mathrm{eq}}|^2} \\ \Leftrightarrow\; \min_{S_b} \max_u \sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2} &\leq \min_{S_b} \sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_n^{\mathrm{eq}}|^2} \,. \end{aligned} \tag{8}$$

De ce fait, on déduit que le plus « mauvais » utilisateur sur S_b offre un nombre de bits meilleur que celui obtenu avec la méthode LP-LCG. Or, notre but est de trouver la solution du problème au membre de gauche de l'inégalité (8) d'après l'équation (6). Minimiser le majorant (membre de droite) permet de réduire le membre de gauche. En choisissant les indices des L meilleures sous-porteuses disponibles du canal équivalent, pour former un bloc, on minimise le majorant. Donc cette solution appelée LP-LCG-A (LP-LCG améliorée) consiste à ranger les sous-porteuses du canal équivalent dans l'ordre décroissant et d'utiliser les indices des sous-porteuses ainsi rangées pour la définition des blocs.

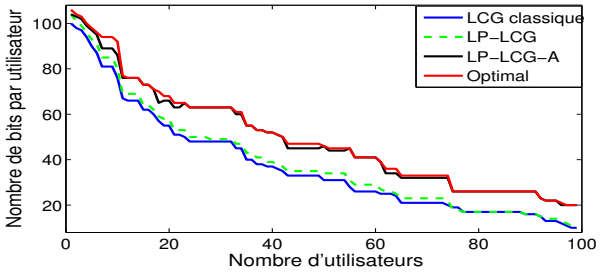

FIGURE 1 – La méthode LP-LCG-A apporte un nombre de bits alloués proche de celui de la méthode optimal lorsque le nombre d'utilisateur varie de 2 à 100.

4.3 Comparaison des différentes solutions

Afin de comparer les différentes méthodes avec l'optimal, nous réalisons la simulation sur un faible nombre de sous-porteuses. La figure 1 donne les différents nombres de bits alloués à chaque utilisateur avec les solutions proposées, sur un canal i.i.d. de Rayleigh où $N = 12$ et $L = 4$. Comme attendu, la solution combinatoire est meilleure que les autres et la composante de précodage linéaire améliore le nombre de bits alloués, obtenu avec la méthode classique LCG. La méthode LP-LCG-A donne des performances proches de celles de l'optimal. Comparée à la méthode classique LCG, la complexité additionnelle apportée par la méthode LP-LCG est l'utilisation de la composante de précodage qui est une matrice orthogonale d'Hadamard. De plus, la méthode LP-LCG-A apporte d'autres complexités liées aux calculs de $\mathcal{R}_{u,b}$ pour tout utilisateur u et pour tout bloc b, avant de choisir le nombre de bits alloués à chaque bloc.

5 Résultats de simulation

Dans cette partie, les résultats de simulation sont présentés dans le contexte CPL pour les différentes méthodes d'allocation en OFDM multicast et LP-OFDM multicast. Nous donnons le gain apporté par le précodage dans le cas LCG et l'intérêt du système LP-LCG face à une méthode OFDM hiérarchisant les données (MHD). Dans les méthodes précédentes d'allocation (LCG, LP-LCG-A), tous les utilisateurs partagent les mêmes sous-porteuses ou blocs de sous-porteuses. Par contre, avec la méthode MHD, chaque sous-porteuse est allouée à un groupe d'utilisateurs qui recevront la même donnée et ce groupe peut être différent d'une sous-porteuse à une autre. Le nombre de bits sur chaque sous-porteuse est déterminé en considérant la plus faible amplitude des canaux des différents utilisateurs sur cette sous-porteuse. Le but de cette méthode est de maximiser la somme des débits des différents utilisateurs [1-2].

Le signal généré est de $N = 1155$ sous-porteuses, transmis sur la bande de $[1,8;30]$ MHz. La synchronisation et l'estimation du canal sont supposées parfaites. Le bruit

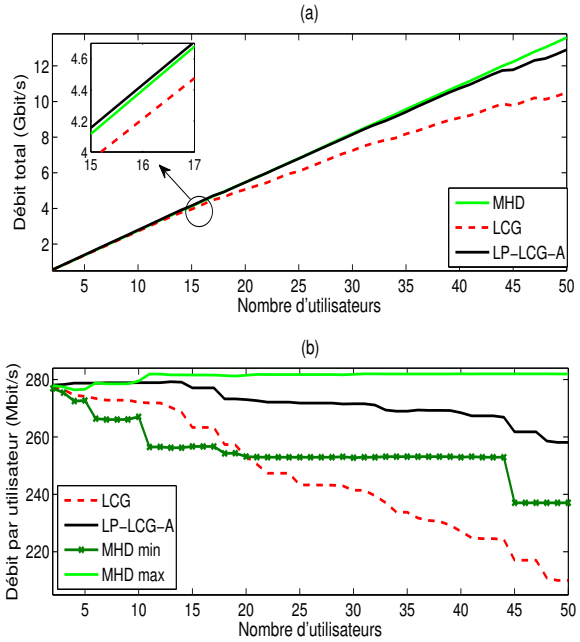

FIGURE 2 – Débits réalisables avec les différentes solutions sur des canaux CPL : (a) débit total et (b) débit reçu par les différents utilisateurs.

de fond considéré est de -110 dBm et la DSP est fixée à -50 dBm pour tous les utilisateurs. Les résultats sont donnés pour un TES (taux d'erreur symbole) de 10^{-6}. On considère un gain de codage γ_c de 6 dB et une marge du système γ_m de 3 dB. La marge de RSB est donnée par [5]

$$\Gamma(\text{dB}) = 9,8 - \gamma_c + \gamma_m \,. \tag{9}$$

Nous utilisons le modèle de canal à multitrajets fourni dans [6] pour le réseau CPL. Ces canaux ont été classés en 9 classes différentes en fonction de leurs capacités et un modèle de canal est associé à chaque classe. Dans nos simulations, ces canaux ont été normalisés de sorte à avoir une atténuation moyenne sur tous les canaux de 3 dB. Chaque utilisateur utilise aléatoirement un canal parmi les 9 classes de canaux, et le nombre maximum de bits par sous-porteuse est fixé à 10.

La figure 2 donne un exemple de débits totaux et de débits par utilisateur avec les différentes solutions proposées en fonction du nombre d'utilisateurs. Les courbes MHD, MHD-min et MHD-max représentent respectivement le débit total, le débit minimal et le débit maximal de la solution hiérarchique appliquée à un système OFDM. Ces courbes sont obtenues avec l'algorithme d'allocation proposé dans [1]. La composante de précodage linéaire apporte un gain considérable en débit comparée à la méthode conventionnelle LCG. Ce gain peut atteindre 22% pour un système de 50 utilisateurs. Par rapport à la méthode MHD, la solution LP-LCG apporte un meilleur débit total pour les faibles nombres d'utilisateurs et devient moins efficace lorsque le nombre d'utilisateurs est élevé (> 20). De plus, dans un contexte de non-hiérarchisation des données, tous les utilisateurs partagent les mêmes ressources et reçoivent le même débit. Par contre, avec la méthode MHD, chaque sous-porteuse est allouée à un groupe d'utilisateurs en fonction de leurs canaux de transmission. Ce qui explique la grande différence entre les courbes MHD-min et MHD-max. La solution LP-LCG est simple à mettre en œuvre et peut être utilisée comme méthode d'allocation de ressources en OFDM multicast dans le contexte CPL.

6 Conclusion

Dans ce papier, nous avons adapté la technique de précodage linéaire aux systèmes OFDM multicast dans un contexte CPL. L'ajout de la composante de précodage linéaire à un algorithme d'allocation LCG offre des gains en débit allant jusqu'à 22%. La solution proposée garantit les qualités de service de tous les usagers et offre un débit total équivalent au débit total obtenu avec la méthode hiérarchique.

Remerciement

Les travaux de recherche menant à ces résultats ont reçu le financement du septième programme cadre FP7/2007-2013 de la communauté européenne en vertu de la convention n° 213311 aussi appelée OMEGA.

Références

[1] C. Suh, J. Mo, "Resource allocation for multicast services in multicarrier wireless communications". in Proc. of IEEE Infocom 2006, Apr. 2006, Barcelona, Spain.

[2] S. Kwack, H. Seo, B. Gi, "Suitability-Based Subcarrier Allocation for Multicast Services Employing Layered Video Coding in Wireless OFDM Systems". VTC Fall 2007, Baltimore, USA.

[3] M. Crussière, J.-Y. Baudais, and J.-F. Hélard, "Adaptive Spread-Sprectrum Multicarrier Multiple-Access Over Wirelines,". IEEE JSAC, Vol. 24, No. 7, July 2006.

[4] Karabati, S Kouvelis, P Yu, "A min-max-sum resource allocation problem and its applications". Operations Research, 2001, Nov-Dec, Vol. 49, Issue. 6 , 913-922

[5] J. M. Cioffi. "A multicarrier primer", November 1991, ANSI Contribution T1E1.4/91-157, Clearfield, Fla, USA.

[6] M. Tlich, A. Zeddam, F. Moulin, F. Gauthier, and G. Avril, "A broadband Powerline Channel Generator," IEEE ISPLC'07, pp. 505-510, Pisa, Italy, March 26-28, 2007.