HAL
open science

Maximisation du débit des systèmes OFDM multicast dans un contexte de courant porteur en ligne

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

To cite this version:

Ali Maiga, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard. Maximisation du débit des systèmes OFDM multicast dans un contexte de courant porteur en ligne. MajecSTIC, Nov 2009, Avignon, France. pp.Article 752. hal-00448186

HAL Id: hal-00448186

https://hal.science/hal-00448186v1

Submitted on 18 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.

MajecSTIC 2009
Avignon, France, du 16 au 18 novembre 2009

Maximisation du débit des systèmes OFDM multicast dans un contexte de courant porteur en ligne

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

Laboratoire IETR, 20, avenue des Buttes de Coesmes- CS 14315, 35043 Rennes Cedex, France

Contact : ali.maiga@insa-rennes.fr

Résumé
Dans ce papier, nous proposons une méthode d'allocation de ressources permettant d'augmenter le débit des systèmes OFDM multicast dans un contexte de courant porteur en ligne (CPL). Cette méthode est basée sur la technique de précodage linéaire, qui, appliquée aux systèmes OFDM, a apporté un gain significatif de débit sur les lignes d'énergie. Dans le cadre des systèmes multicast OFDM, les simulations réalisées sur des canaux CPL montrent un apport de gain significatif comparé à la méthode classique en multicast.

Abstract
In this paper, we propose a resource allocation method in order to increase multicast OFDM systems bit rate in powerline communications (PLC) context. This method is based on linear precoding technique, which, 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 significant bit rate gain compared to the classical multicast bit rate.

Mots-clés : Courant porteur en ligne, Modulation multiporteuse, OFDM multicast, Précodage linéaire, Allocation des ressources.

Keywords: Powerline communications, Multicast OFDM, Linear precoding, Resource allocation.

---

1. Introduction

Développées à l'origine dans le cadre d'applications bas débit de télémétrie, de contrôle d'infrastructure ou encore de mesure de consommation, 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 des lignes d'énergie pour le développement de réseaux domestiques et l'acheminement de données multimédia à haut débit. Les potentialités de cette technologie, ajoutées à l'atout évident que représente l'ubiquité de l'infrastructure, en font une alternative particulièrement adaptée et peu onéreuse aux technologies déjà disponibles pour ce type d'applications, telles que le WIFI. La demande pour les services multimédias tels que la vidéo et l'audio conférence, les jeux en ligne est croissante sur le réseau CPL. La figure 1 donne des exemples d'applications multimédias utilisées sur le réseau CPL. Actuellement, les services multimédias sont acheminés séparément aux utilisateurs utilisant le même service, menant ainsi à une duplication de données et une perte 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 [2]. Le canal de propagation CPL est considéré comme quasi-statique et peut être exploité au niveau de l'émetteur pour allouer les ressources aux utilisateurs. La différence de canaux entre les différents utilisateurs rend cependant difficile l'allocation des ressources car les besoins de chaque utilisateur en mode multicast doivent être satisfaits. La méthode classique en OFDM multicast (orthogonal frequency division multiplex) consiste à s'aligner sur le plus « mauvais » utilisateur

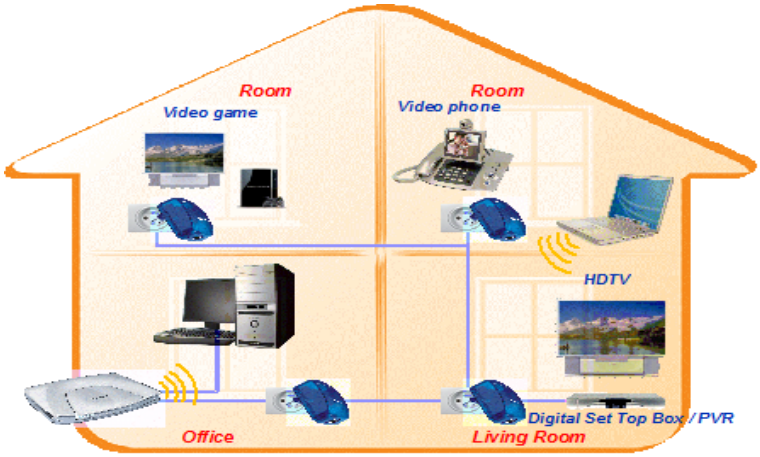

FIGURE 1 – Exemples d'application sur le réseau domestique CPL - OMEGA [1].

pour allouer l'information. In fine, cette méthode réduit le débit total lorsque le nombre d'utilisateurs augmente.
Afin d'augmenter le débit total en multicast, les données multicast sont compressées en plusieurs couches suivant une hiérarchie de qualités [2]. Les couches allouées aux utilisateurs dépendent de la qualité des canaux de transmission. Ainsi, l'utilisateur avec un « mauvais » canal recevra les couches basses, qui produiront des données de qualités moindres. Les utilisateurs recevant les couches hautes auront des données de qualités meilleures.
Dans ce papier, nous proposons un algorithme d'allocation des ressources permettant d'augmenter le débit multicast sans hiérarchiser les données. Cet algorithme a pour but d'allouer les ressources 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.

2. Description du système LP-OFDM

La modulation multiporteuse a pour origine celui du multiplexage fréquentiel et repose sur la parallélisation en fréquence de l'information à transmettre. Le signal OFDM est constitué de sous-porteuses formant une base vectorielle orthogonale en fréquence et à occupation spectrale minimale. Nous faisons l'hypothèse d'un signal OFDM adapté au canal et l'équation de la réception, sous sa forme numérique et matricielle, s'écrit

$$Y = HX + Z\,, \tag{1}$$

où X est le vecteur des symboles émis et contenant l'information, H la matrice diagonale du canal, Z le vecteur de bruit et Y le signal reçu.
Le système LP-OFDM résulte de la combinaison de modulations multiporteuses et de l'étalement de spectre. Il réalise un changement de base du système OFDM. L'équation de la réception s'écrit

$$Y = HCX + Z\,, \tag{2}$$

où C est la matrice de précodage constituée de matrices de Hadamard. Le vecteur des symboles estimés $\hat{X}$ s'écrit

$$\hat{X} = C^T H^{-1} Y \tag{3}$$

L'intérêt de cette technique est de pouvoir regrouper les sous-porteuses de la modulation OFDM dans des sous ensembles, appelés blocs, afin d'accroître les débits de transmission [4]. Les sous-porteuses de chaque bloc ne sont pas forcement adjacentes et le nombre B de blocs est le rapport du nombre total N de sous-porteuses sur le nombre L de sous-porteuses par bloc. Pour simplifier,

on suppose une taille de bloc fixe pour tous les utilisateurs et, dans le cas de modulations non contraintes, le débit total réalisé sur un bloc S_b est [3], [5]

$$\mathcal{R}_{u,b} = L \log_2 \left(1 + \frac{1}{\Gamma} \frac{L}{\sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2}} \frac{E}{N_0} \right), \tag{4}$$

où E est la contrainte de DSP, Γ la marge de RSB (rapport signal à bruit), N_0 le niveau du bruit de fond et $|h_{u,n}|^2$ l'amplitude du canal sur la sous-porteuse n de l'utilisateur u. Pour maximiser le débit $\mathcal{R}_{u,b}$, il suffit de minimiser la somme $\sum_{n \in S_b} 1/|h_{u,n}|^2$ en choisissant les sous-porteuses ayant les meilleures amplitudes $|h_{u,n}|^2$.

3. Formulation du problème de maximisation du débit des systèmes OFDM multicast

La méthode classique en OFDM multicast, LCG (*low channel gain*, [2]), est une méthode simple qui permet d'allouer l'information multicast tout en satisfaisant les qualités de service des usagers. Avec cette méthode, le débit considéré par sous-porteuse est le plus faible débit des utilisateurs sur cette sous-porteuse. Le débit réalisé par cette méthode LCG sur la sous-porteuse n dans le contexte CPL est

$$\mathcal{R}_n^{LCG} = \min_u \log_2 (1 + \frac{E}{\Gamma N_0} |h_{u,n}|^2), \tag{5}$$

où $|h_{u,n}|^2$ est l'amplitude du canal de l'utilisateur u sur la sous-porteuse n. L'état des canaux de tous les utilisateurs est connu.
Dans le cadre du système LP-OFDM, le débit réalisé dans le bloc S_b en multicast sera le plus faible débit des utilisateurs sur ce bloc. Ce débit est

$$\mathcal{R}_b^{LP} = \min_u \mathcal{R}_{u,b} = \min_u L \log_2 \left(1 + \frac{1}{\Gamma} \frac{L}{\sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2}} \frac{E}{N_0} \right). \tag{6}$$

Notre but étant de maximiser le débit en multicast, il s'agira donc de maximiser le plus faible débit des utilisateurs sur chaque bloc. Pour cela, il faut trouver une stratégie de regroupement des sous-porteuses dans les différents blocs qui maximise le plus faible débit du bloc. Comme,

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

et vice versa, le problème d'optimisation s'écrit

$$\min_{S_b} \max_u \sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2}. \tag{7}$$

Nous sommes en présence d'un problème « min-max » qui consiste à trouver la solution présentant le meilleur mauvais débit parmi tous les scénarios.

3.1. Solution combinatoire

Le problème (7) est un problème d'optimisation combinatoire et la méthode basique de sa résolution est de tester toutes les possibilités de regroupement des sous-porteuses en blocs et de choisir le meilleur cas. Il est clair qu'un tel algorithme serait fini. Mais dès que le nombre N de sous-porteuses deviendrait grand, il est facile de se rendre compte qu'il faudrait trop de temps de calculs à l'ordinateur pour énumérer toutes les possibilités. Dans le calcul du débit en LP-OFDM, l'ordre des sous-porteuses dans un bloc et l'ordre des blocs n'influent pas sur le résultat final. Ainsi, le nombre total de possibilités est donnée par :

$$\frac{C_N^L \times C_{N-L}^L \times C_{N-2L}^L \times \ldots \times C_{2L}^L}{(\frac{N}{L})!} = \frac{N!}{(L!)^{(\frac{N}{L})} (\frac{N}{L})!}, \tag{8}$$

où le nombre total N de sous-porteuses est considéré comme multiple du nombre L de sous-porteuses par bloc. 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. 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.

3.2. Exploitation de la méthode classique LCG

Dans la méthode LCG, le débit total peut être considéré comme le débit calculé sur un canal équivalent dans le cadre d'un seul utilisateur. Ce canal est créé à partir de la combinaison des différents canaux des utilisateurs. Pour chaque indice de sous-porteuse du canal, l'amplitude équivalente est l'amplitude de l'utilisateur qui présente la plus faible amplitude.

$$\left|h_n^{eq}\right|^2 = \min_u |h_{u,n}|^2 \ . \tag{9}$$

Afin d'augmenter le débit offert par la méthode LCG, la composante de précodage linéaire, dans le cadre d'un seul utilisateur [5], peut être appliquée sur le canal équivalent. Cette méthode sera appelée LP-LCG. Les sous-porteuses du canal équivalent sont ainsi rangées par ordre décroissant pour la formation des blocs. Il a été prouvé dans [3] que la composante de précodage linéaire permet d'augmenter le débit OFDM dans le cas d'un seul utilisateur.

3.3. Amélioration de la méthode LP-LCG

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

$$|h_{u,n}|^2 \geq \left|h_n^{eq}\right|^2 \ \Leftrightarrow \ \max_u \sum_{n \in S_b} \frac{1}{|h_{u,n}|^2} \leq \sum_{n \in S_b} \frac{1}{\left|h_n^{eq}\right|^2} \ . \tag{10}$$

De ce fait, on déduit que le plus « mauvais » utilisateur sur S_b offre un débit meilleur que le débit LP-LCG. Or, notre but est de minimiser le membre de gauche de l'inégalité (10) d'après (7). Minimiser le majorant (membre de droite) permet de réduire le membre de gauche et en choisissant les indices des L meilleures sous-porteuses disponibles du canal équivalent, pour la formation d'un bloc, on minimise le majorant. 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. L'algorithme 1 décrit la méthode de calcul du débit multicast pour la solution LP-LCG-A. Le résultat pour la méthode classique LCG s'obtient en fixant $L = 1$.

Algorithme 1 : Algorithme de la méthode LP-LCG-A

Entrées : N, U, B , L, $|h_{u,n}|^2 \ \forall u, n$
Sorties : débit par utilisateur D

```
1  début
2      D ← 0 ;
3      pour toute sous-porteuse n, n ∈ [1; N] faire
4          calculer |h_n^eq|^2 de (9) ;
5      trier |h_n^eq|^2 par ordre décroissant ; soit I l'ensemble des indices ainsi triés ;
6      pour tout bloc b, b ∈ [1; B] faire
7          S_b ← I((b − 1)L : bL) ;
8          pour tout utilisateur u, u ∈ [1; U] faire
9              calculer R_{u,b} de (4) ;
10         R_b^LP ← min_u R_{u,b} ;
11         D ← D + R_b^LP ;
12 fin
```

4. Comparaison des différentes solutions

La figure 2 donne les différents nombres de bits alloués à chaque utilisateur avec les solutions proposées sur un canal i.i.d. [1] de Rayleigh où $N = 12$ et $L = 4$. Afin de s'affranchir du dimensionnement du système nécessaire pour le calcul des débits, nous comparons les nombres de bits reçus par les utilisateurs. Comme attendu, la solution combinatoire surpasse 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 et dans la suite, les simulations seront réalisées sans la méthode combinatoire.

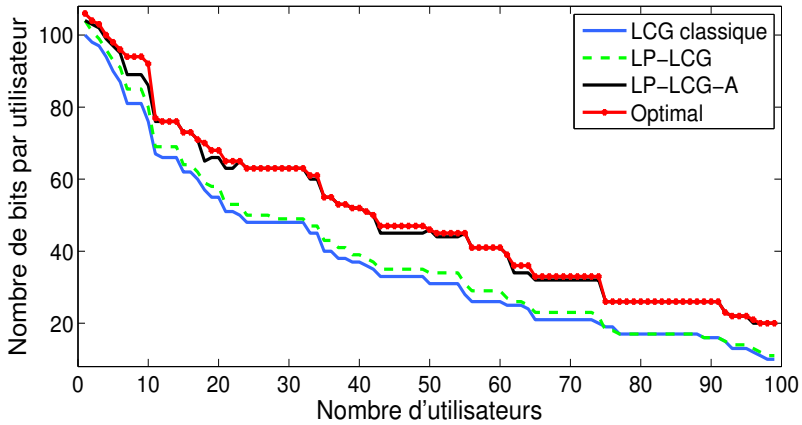

FIGURE 2 – Nombre de bits alloués à chaque utilisateur en fonction du nombre d'utilisateurs.

Comparée à la méthode classique LCG, la complexité additionnelle apportée par la méthode LP-LCG correspond à la multiplication par une matrice orthogonale d'Hadamard (matrice d'éléments $\{-1, +1\}$). De plus, la méthode LP-LCG-A nécessite le calcul des éléments $\mathcal{R}_{u,b}$. La complexité additionnelle reste ainsi marginale comparée à la complexité initiale.

5. Résultats de simulation

Dans cette partie, nous présentons les résultats de simulation 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 linéaire par rapport à la méthode classique LCG. Le signal généré est de $N = 1024$ sous-porteuses, transmis dans la bande de [2 ; 28] MHz. La synchronisation et l'estimation de canal sont supposées parfaites. Le bruit de fond considéré, la DSP, la marge de RSB et le nombre maximum de bits par sous-porteuse sont respectivement fixés à -110 dBm, -50 dBm, 8.42 dB et 10, pour tous les utilisateurs. Dans un premier temps, nous comparons les méthodes d'allocation en OFDM multicast et LP-OFDM multicast dans le cadre de deux utilisateurs. Le rapport des amplitudes moyennes des canaux des deux utilisateurs varient de 0 à 20 dB et la somme des amplitudes moyennes des canaux est fixée à -30 dB. La figure 3 présente les performances des méthodes LP-LCG et LP-LCG-A par rapport à la méthode classique LCG, lorsque le rapport des amplitudes moyennes varie. Comme attendu, les méthodes basées sur le précodage linéaire offrent un meilleur nombre de bits à chaque utilisateur et le gain offert en termes de nombre de bits augmente considérablement lorsque le rapport des amplitudes moyennes des canaux des utilisateurs augmente. La méthode LP-LCG-A offre les meilleures performances.
Dans un second temps, nous faisons varier le nombre d'utilisateurs jusqu'à 15. Nous utilisons le modèle de canaux à multitrajets fourni dans [6] pour le réseau CPL. Un canal différent est attribué

1. Des variables indépendantes et identiquement distribuées (iid) sont des variables aléatoires qui ont toutes la même loi de probabilité et sont mutuellement indépendantes.

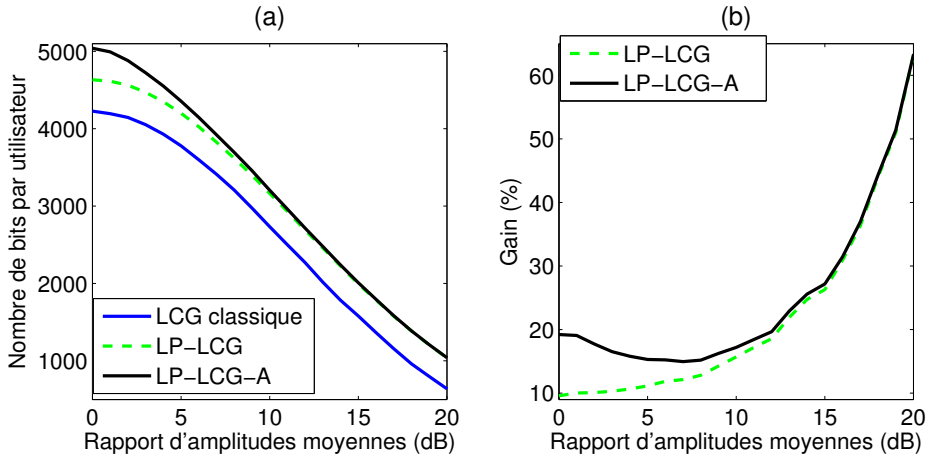

FIGURE 3 – Performances des méthodes LP-LCG et LP-LCG-A par rapport à la méthode LCG lorsque le rapport des amplitudes moyennes varie. (a) nombre de bits alloués à chaque utilisateur, (b) gain apporté par les méthodes LP-LCG et LP-LCG-A.

à chaque utilisateur. La figure 4 présente les différents nombres totaux de bits transmis à chaque utilisateur. Cette figure montre une fois de plus l'intérêt du précodage linéaire dans les systèmes OFDM multicast. La différence de nombre de bits reçu par les utilisateurs entre la LP-LCG-A et la méthode classique LCG est de plus de 150 bits.

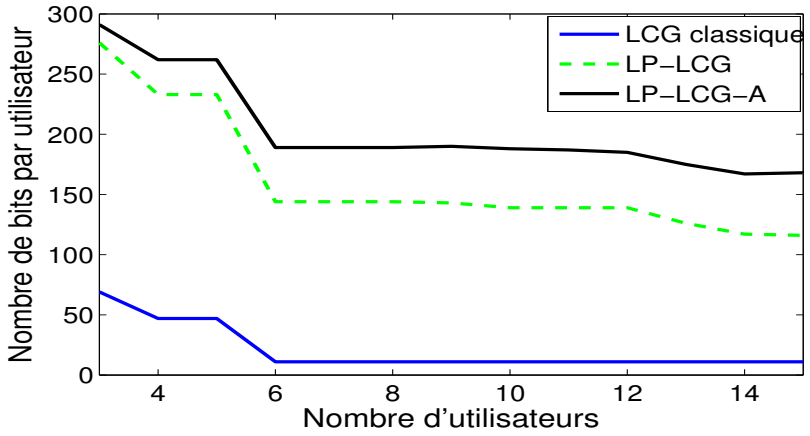

FIGURE 4 – Nombres de bits alloués à chaque utilisateur lorsque le nombre d'utilisateurs varie.

6. Conclusion

Dans ce papier, nous avons adapté la technique de précodage linéaire aux systèmes OFDM multicast sur les lignes d'énergie. Afin de maximiser le débit en multicast, nous avons proposé une méthode d'allocation de ressources basée sur la technique de précodage linéaire. Les résultats de simulation montrent tout l'intérêt de l'ajout de la composante de précodage linéaire aux systèmes OFDM multicast, en permettant des gains considérables en débits de transmission par rapport à la méthode classique d'allocation en OFDM multicast.

Bibliographie

1. OMEGA deliverable D3.1. State of the art, application scenario and specific requirements for PLC. `www.ict-omega.eu/fileadmin/documents/deliverables/OmegaD3.1.pdf`.
2. Suh C, Mo J. Resource allocation for multicast services in multicarrier wireless communications. IEEE Infocom 2006, Apr. 2006, Barcelone, Spain.
3. Maiga A, Baudais J-Y, et Hélard J-F. Very High Bit Rate Power Line Communications For Home Networks. IEEE ISPLC09, April 2009, Dresden, Germany.
4. Baudais J.-Y, et Crussière M. Allocation MC-CDMA : augmentation des débits sur les lignes de transmission. GRETSI, septembre 2005
5. Crussière M, Baudais J.-Y, et Hélard J.-F. Adaptive linear precoded DMT as an efficient resource allocation scheme for power-line communications. IEEE GLOBECOM 2006, San Francisco, USA, November 2006.
6. Tlich M, Zeddam A, Moulin F, Gauthier F, et Avril G. A broadband Powerline Channel Generator. IEEE ISPLC 2007, pp. 505-510, Pisa, Italy, March 26-28, 2007.

Les travaux de recherche conduisant 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 appelé OMEGA.