HAL
open science

Minimisation du TEB moyen d'un système OFDM precodé

Fahad Syed Muhammad, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard

To cite this version:

Fahad Syed Muhammad, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard. Minimisation du TEB moyen d'un système OFDM precodé. GRETSI, Sep 2009, Dijon, France. 4p. hal-00421643

HAL Id: hal-00421643

https://hal.science/hal-00421643v1

Submitted on 18 Sep 2014

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.

Minimisation du TEB moyen d'un système OFDM precodé

Fahad Syed Muhammad, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard

Institut d'électronique et de télécommunication de Rennes
20, av. des Buttes-de-Coësmes, CS 14315, 35043 Rennes Cedex, France
{fahad.syed-muhammad,jean-yves.baudais,jean-francois.helard}@insa-rennes.fr

Résumé – Le problème de la minimisation du TEB (taux d'erreur binaire) moyen est étudié pour un système LP-OFDM (*linear precoded orthogonal frequency division multiplexing*). Les algorithmes d'allocation des ressources sont proposés pour minimiser le TEB moyen sous contrainte de débit cible et de densité spectrale de puissance. Les résultats sont présentés dans le contexte des courants porteurs en ligne (CPL) et comparés aux performances des algorithmes, plus classiques, de maximisation de la marge des systèmes OFDM et LP-OFDM. Il est montré que l'allocation proposée est plus performante surtout pour les faibles RSB (rapport signal sur bruit) tout en offrant une complexité réduite.

Abstract – The mean bit error rate (BER) minimization problem is studied for a linear precoded orthogonal frequency division multiplexing (LP-OFDM) system. Resource allocation algorithms are proposed to minimize the mean BER of the system for a target bit rate and a given power spectral density. The results are presented for a power line communication context and are compared with the classical margin maximization algorithms for OFDM and LP-OFDM systems. It is shown that the proposed allocation performs better than existing allocations specially for weak signal to noise ratio and also has reduced complexity.

1 Introduction

L'exploitation optimale des ressources disponibles est un des aspects les plus importants des systèmes de communication moderne. Les algorithmes d'allocation des ressources permettent d'allouer les bits et les puissances aux sous-porteuses d'un système de communication multi-porteuse à partir de la connaissance du canal. Le système LP-OFDM (*linear procoded orthogonal frequency division multiplexing*) est la combinaison de l'OFDM et du précodage. L'idée est de regrouper les sous-porteuses en sous-ensembles à l'aide de matrices de précodage. Chaque sous-ensemble exploite l'énergie de ses sous-porteuses afin de transmettre un nombre total de bits supérieur à la somme des bits qu'il est possible de transmettre sur chaque sous-porteuse individuellement.

Le rôle de l'allocation des ressources dans les systèmes multi-porteuses est d'optimiser soit le débit ou la robustesse du système. Sous la contrainte de DSP (densité spectrale de puissance) et pour un taux d'erreur donné, l'allocation des ressources donne généralement soit le débit maximale pour une marge du système donné ou la marge maximal du système pour un débit cible. Le premier est le problème de maximisation du débit (MD) [1] et le second problème est la maximisation de la marge (MM) [2], qui est également connu dans la littérature comme le problème de minimisation de puissance sous les contraintes de débit et taux d'erreur données.

Plutôt que de considérer un taux d'erreur crête, c'est-à-dire par dimension, il a été proposé dans [3] et [4] de travailler avec un taux d'erreur moyen afin d'améliorer les débits de transmission ou la robustesse des systèmes. Dans cet article, nous proposons une allocation des ressources pour un système LP-OFDM sous contrainte de DSP, et où la minimisation de TEB (taux d'erreur binaire) moyen est effectuée pour un débit donné. Les résultats sont comparés avec l'allocation des ressources existant, et il est démontré que les algorithmes proposées offrent meilleurs résultats que les solutions existantes dans les conditions difficiles, c'est-à-dire les faibles valeurs de RSB. La modulation d'amplitude en quadrature (MAQ) est sélectionnée en tant que schéma de modulation.

Dans le paragraphe 2, le système LP-OFDM est décrit. Le problème de minimisation du TEB moyen est analysé dans le paragraphe 3 et l'algorithme d'allocation est décrit. Les résultats de simulation sont discutés dans le paragraphe 4 dans le contexte CPL (courant porteur en ligne). Enfin, le paragraphe 5 conclut l'article.

2 Description du système

La structure d'un système LP-OFDM est illustré par la figure 1. L'ensemble des N sous-porteuses d'un système LP-OFDM est divisée en K sous-ensembles S_k de L sous-porteuses. Soit $C^{(k)}$ le nombre de séquences de précodage utiles pour étaler les symboles MAQ sur le sous-ensemble S_k, également appelé bloc avec $0 \leq C^{(k)} \leq L$. L'énergie $E_c^{(k)}$ est attribuée à chaque séquence de précodage $c^{(k)}$ associée à une symbole de modulation de $b_c^{(k)}$ bit, où l'indice

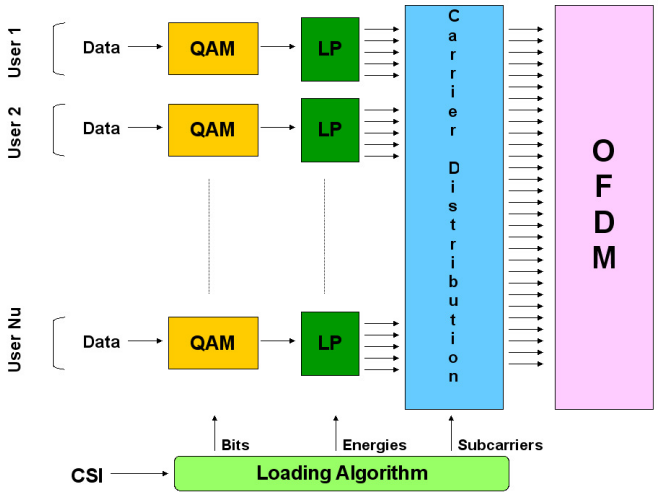

FIG. 1 – Système LP-OFDM

c est tel que $1 \leq c \leq C^{(k)}$. Nous supposons que la composante OFDM est adaptée au canal qui est alors modélisé par un unique coefficient complexe par sous-porteuse. Dans une approche générale, le vecteur des symboles générés à la sortie du modulateur OFDM pour un système LP-OFDM est décrit par

$$s = F^H M X. \tag{1}$$

Le vecteur s est de dimension K et avec K le nombre de sous-porteuses utiles. $X = [x_1, \cdots, x_L]^T$ est le vecteur des L symboles MAQ à transmettre. M représente la matrice de précodag de taille $K \times L$ appliquée à X, qui precodes L symboles sur K sous-porteuses. Cette matrice de précodage est composée de matrices de Hadamard. Enfin, F^H représente la matrice de Fourier unitaire et hermitienne de taille $K \times K$ qui réalise la modulation multiporteuses.

3 L'allocation des ressources

L'allocation est réalisée sous contrainte de DSP et de débit cible. Nous allons d'abord étudier un système LP-OFDM mono-bloc et proposer l'algorithme d'allocation qui minimise le TEB moyen du système. Cette approche est ensuite étendue au cas multi-bloc.

3.1 Système LP-OFDM mono-bloc

Dans ce paragraphe l'indice k est supprimé puisqu'il n'y a qu'un seul sous-ensemble. Le problème MTM (minimisation du TEB moyen) d'un système LP-OFDM mono-bloc est décrit par

$$\min P^b \quad \text{t.q.} \quad \sum_{c=1}^{C} E_c \leq E_{\text{DSP}}, \text{ et } \sum_{c=1}^{C} b_c = R \ , \tag{2}$$

où P^b est le TEB moyen du système, b_c et E_c sont respectivement le nombre de bits et l'énergie associés à la séquence c, et C est le nombre de séquences utiles. E_{DSP} est l'énergie maximale fixée par la limite de DSP et R est le débit cible. En utilisant l'approximation $P_c^s = P_c^b b_c$, où P_c^s et P_c^b sont respectivement le TES et le TEB associés à la séquence c, le problème (2) devient

$$\min P^b = \min \frac{\sum_{c=1}^{C} P_c^b b_c}{\sum_{c=1}^{C} b_c} = \min \frac{1}{R} \sum_{c=1}^{C} P_c^s$$

$$\text{t.q.} \quad \sum_{c=1}^{C} E_c \leq E_{\text{DSP}}, \text{ et } \sum_{c=1}^{C} b_c = R \ . \tag{3}$$

Le TES de la séquence de précodage c s'écrit [6]

$$P_c{}^s = 2 \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{\alpha E_c}{2^{b_c} - 1}}\right) \ , \tag{4}$$

avec

$$\alpha = \frac{3}{2} \frac{L^2}{\sum_{i=1}^{L} \frac{1}{|H_i|^2}} \frac{1}{N_0} \ ,$$

où H_i est le coefficient complexe de la sous-porteuse i et N_0 est le niveau de bruit. On peut montrer que l'allocation optimale consiste à répartir le même nombre de bits et la même énergie entre les séquences de précodage. Il reste alors à trouver le nombre optimal C^* de séquences de précodage utiles. Cette étape est réalisée par régression linéaire à partir des équations (3) et (4) en posant $E_c = E_{\text{DSP}}/C^*$ et $b_c = R/C^*$. La solution obtenue dans le cas de modulation non contrainte s'exprime par

$$C^* = \text{round}\left(m\left(e^{\frac{R-0,42}{1,44}} - 1\right)\right) \ , \tag{5}$$

avec

$$m = \frac{2\alpha E_{\text{DSP}}}{3\left(2^R - 1\right)}.$$

Dans le cas de modulations contraintes, c'est-à-dire le cas d'allocation de bit entier, la répartition optimale des bits pour un nombre de séquences C^* consiste à attribuer $\lfloor R/C^* \rfloor + 1$ bits à n séquences et $\lfloor R/C^* \rfloor$ bits aux $C^* - n$ autres séquences, avec

$$n = R - C^* \lfloor R/C^* \rfloor \ . \tag{6}$$

L'allocation de bit entier pour un système mono-bloc est alors donnée par

$$\begin{cases} b_c = \lfloor R/C^* \rfloor + 1 & \forall c \in [1; n] \\ b_c = \lfloor R/C^* \rfloor & \forall c \in [n+1; C^*] \end{cases} \tag{7}$$

Il reste à répartir l'énergie entre les séquences, soit

$$E_c = \frac{(2^{b_c} - 1)}{\sum_{c=1}^{C^*} (2^{b_c} - 1)} E_{\text{DSP}} \ . \tag{8}$$

L'algorithme pour un système LP-OFDM mono-bloc s'écrit alors

Calculer C^* de (5)
if $C^* < 1$ **then**
  $C^* = 1$
else if $C^* > L$ **then**
  $C^* = L$
end if
Calculer n de (6)
Calculer b_c de (7)
Calculer E_c de (8)

Cet algorithme effectue une allocation de bits et d'energie entre les séquences de précodage et il est plus performant que l'allocation MM dans des conditions difficiles. Il a également une très faible complexité, cars aucune procédure itérative est utilisée.

3.2 Système LP-OFDM multi-bloc

Le problème MTM pour un système LP-OFDM multi-bloc est décrit par

$$\min P^b = \min \frac{\sum_{k=1}^{K} {P_k}^b R_k}{\sum_{k=1}^{K} R_k}$$

$$\text{t.q.} \quad \sum_{k=1}^{K} R_k = R \text{ et } \sum_{c=1}^{C} E_c \leq E_{\text{DSP}},\ c \in S_k\ , \qquad (9)$$

avec P_k^b le TEB moyen du bloc k.

L'algorithme d'allocation proposé est itératif et effectué en deux étape. Premièrement, les bits sont alloués au bloc qui a le TEB moyen minimal afin de trouver le débit cible de chaque bloc. La procédure est réitérée sur l'ensemble des blocs restants. Ensuite l'allocation est effectuée pour chaque bloc à partir des équations (5), (6), (7) et (8) afin d'obtenir respectivement les valeurs $C^{*(k)}$, $n^{(k)}$, $b_c^{(k)}$ et $E_c^{(k)}$. L'algorithme proposé pour un système LP-OFDM multi-bloc peut être décrit de la façon suivante

while $\sum_{k=1}^{K} R_k < R$ **do**
  $k = \arg\min_k P_k^b(R_k)$
  $R_k = R_k + 1$
end while
for k=1 :K **do**
  Calculer $C^{*(k)}$ de (5)
  if $C^{*(k)} < 1$ **then**
    $C^{*(k)} = 1$
  else if $C^{*(k)} > L$ **then**
    $C^{*(k)} = L$
  end if
  Calculer $n^{(k)}$ de (6)
  Calculer $b_c^{(k)}$ de (7)
  Calculer $E_c^{(k)}$ de (8)
end for

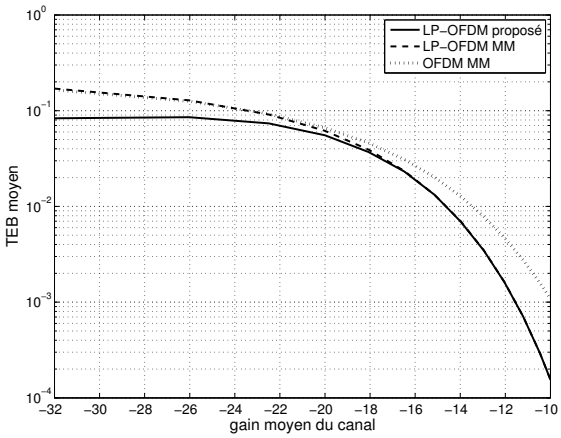

FIG. 2 – TEB moyen vs. gain du canal, débit cible de 4000 bit.

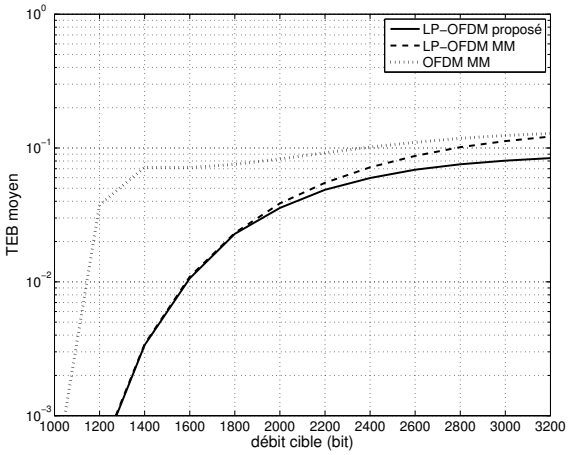

FIG. 3 – TEB moyen vs. débit cible, gain du canal de −27,5 dB.

La rapidité de l'algorithme augmente avec la longueur L des séquences. Ainsi l'algorithme d'allocation d'un système LP-OFDM est plus rapide que celui d'un système OFDM.

4 Résultats de simulation

Les performances de l'algorithme sont évaluées dans un contexte CPL sur le canal Zimmermann [5] et comparées aux performances obtenues avec un algorithme de maximisation de la marge (MM) proposé dans [6]. La bande passante de 20 MHz est divisée en 1024 sous-porteuses et le nombre de bits par symbole MAQ est limité à 15. Il est supposé que les tâches des synchronisation et d'estimation du canal ont été accomplies avec succès. Un niveau de bruit de −110 dBm/Hz est assumée, et le signal est

transmis avec une DSP de -40 dBm/Hz.

La figure 2 donne le TEB moyen obtenu en fonction du gain moyen du canal avec une débit cible de 4 kb/symbole OFDM. Les performances de l'allocation proposée sont comparées avec les performances de l'allocation MM pour les systèmes OFDM et LP-OFDM. On peut montrer que pour un système OFDM les algorithmes MM et MTM offrent les mêmes performances. La longueur optimale des blocs $L = 16$ est obtenue par simulation. On peut remarquer que les performances de l'allocation LP-OFDM proposée sont meilleures que celles des allocations MM (OFDM et LP-OFDM), en particulier pour les faibles RSB. À fort RSB, les deux algorithmes MM et MTM appliqués au système LP-OFDM offrent des performances très proches qui restent supérieures à celles du système OFDM. L'allocation LP-OFDM proposée est plus performante, car elle utilise le nombre optimal de séquences de précodage, tandis que l'allocation MM LP-OFDM utilise toujours toutes les séquences de précodage d'un bloc, c'est-à-dire L. Pour des RSB plus élevés, le nombre optimal de séquences de précodage calculé C^* est égal à L.

La figure 3 donne le TEB moyen en fonction du débit par symbole OFDM pour un gain du canal. On compare les performances de différentes allocations pour différentes valeurs de débit cible avec une valeur basse du gain du canal (c'est-à-dire $-53,75$ dB). Les résultats montrent que l'allocation proposée LP-OFDM est plus performant que allocations MM LP-OFDM et OFDM.

Dans tous les cas, l'allocation MTM LP-OFDM offre de meilleures performances que l'allocation MM LP-OFDM ou que l'allocation MM OFDM.

5 Conclusion

Le dimensionnement d'un émetteur LP-OFDM a été proposé afin de minimiser le TEB moyen du système de communication. L'algorithme d'allocation MTM a été proposé pour un système LP-OFDM. Cet algorithme minimise le TEB moyen du système pour un débit cible et une DSP donnés. Cet algorithme donne de meilleurs résultats que les algorithmes MM. De plus, les performances MTM LP-OFDM sont meilleures que celles du système OFDM, le nombre de séquences de précodage étant un autre degré de liberté pour l'optimisation. Il est montré que l'allocation proposée MTM LP-OFDM est plus performante pour de faibles RSB et pour des débits élevés. La complexité de l'algorithme proposé est également réduit par rapport aux solutions OFDM grâce au regroupement des sous-porteuse. L'étude analytique a été développée et l'application de l'algorithme d'allocation dans un contexte CPL montre la pertinence de l'approche.

Références

[1] M. Crussière, J.-Y. Baudais, and J.-F. Hélard, "Adaptive spread-spectrum multicarrier multiple-access over wirelines," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications,* vol. 24, no. 7, pp. 1377-1388, 2006.

[2] B.S. Krongold, K. Ramchandran, and D.L. Jones, "An efficient algorithm for optimal margin maximization in multicarrier communication systems," in *Proc IEEE GLOBECOM.,* Rio de Janeiro, Brazil, 1999, pp. 899-903.

[3] A. M. Wyglinski, F. Labeau, and P. Kabal, "Bit loading with BER-constraint for multicarrier systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.,* vol. 4, no. 4, pp. 1383-1387, Jul. 2005.

[4] Y. George, and O. Amrani, "Bit Loading Algorithms for OFDM," in *Proc IEEE Inter. Symp. on Info. Theory.,* Chicago, USA, 2004, pp. 391.

[5] M. Zimmermann and K. Dostert, "A multipath model for the powerline channel," *IEEE Trans. Commun.,* vol. 50, no. 4, pp. 553, Apr. 2002.

[6] M. Crussière, J.-Y. Baudais, and J.-F. Hélard, "Loading Algorithms for Adaptive SS-MC-MA Systems over Wireline Channels: Comparison with DMT," *European Transactions on Telecommunications, Special Issue on the 5th Multi-Carrier Spread-Spectrum* vol. 17, no. 6, pp. 659-669, 2006.

[7] K. Fazel, and S. Kaiser, *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems,* John Wiley & Sons, 2003.

[8] S. Nobilet, J.-F. Hélard, and D. Mottier, "Spreading sequences for uplink and downlink MC-CDMA systems: PAPR and MAI minimization," *European Trans. on Telecomm.,* vol. 13, no. 5, pp. 465-474, 2002.

[9] J. G. Proakis, *Digital Communications,* 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

[10] D. Rainish, "Diversity transform for fading channels," *IEEE Trans. Commun.,* vol. 44, pp. 1653-1661, Dec. 1996.

[11] Z. Wang, and G. B. Giannakis, "Linearly precoded or coded OFDM against wireless channel fades ?," in *Proc IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Commun.,* Taoyuan, Taiwan, 2001, pp. 267-270.