



HAL
open science

Utilisation des sous-porteuses nulles pour l'amélioration de la méthode de réduction du PAPR par entrelacement

Younes Aimer, Boubakar Seddik Bouazza, Smail Bachir, Tayeb Bouazza, Keltoum Nouri, Clency Perrine

► **To cite this version:**

Younes Aimer, Boubakar Seddik Bouazza, Smail Bachir, Tayeb Bouazza, Keltoum Nouri, et al.. Utilisation des sous-porteuses nulles pour l'amélioration de la méthode de réduction du PAPR par entrelacement. 20 eme Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint Malo, France. <hal-01663111>

HAL Id: hal-01663111

<https://hal.science/hal-01663111v1>

Submitted on 13 Dec 2017

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.



Copyright - All rights reserved

Utilisation des sous-porteuses nulles pour l'amélioration de la méthode de réduction du PAPR par entrelacement

Y. Aimer^{1,2}, B.S. Bouazza¹, S. Bachir², C. Duvanaud², K. Nouri¹, C. Perrine²

¹Laboratoire Technologies de Communications, Université Dr. Tahar Moulay
BP 138 Cité En-Nasr, 20000 Saida, Algérie

²Laboratoire XLIM, UMR CNRS 7252, Université de Poitiers
IUT Angoulême, 4 avenue Varsovie, 16021, France
younes.aimer@univ-poitiers.fr

Résumé — Dans cet article, nous présentons des améliorations majeures de la technique de réduction du PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) par entrelacement. Ces méthodes sont connues pour leur efficacité en terme de réduction du PAPR dans les systèmes OFDM mais malheureusement, exigent l'envoi d'informations auxiliaires sur l'entrelaceur original, ce qui dégrade le débit. Dans le schéma présenté, nous proposons une méthode originale de codage des clés des entrelaceurs, une transmission via les sous-porteuses nulles (SPN) du standard et un processus de décodage robuste en présence d'un canal sélectif et bruité. Les résultats de simulation pour la norme WLAN IEEE 802.11a montrent une amélioration de 5 dB du PAPR sans dégradation des critères de communication.

1. Introduction

En raison de sa haute efficacité spectrale, de sa robustesse face aux interférences en présence de canaux sélectifs et sa simplicité d'implémentation, la modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est adoptée par la majorité des systèmes de radiocommunications récents comme la Diffusion Audio/Vidéo numérique (DAB/DVB), les réseaux métropolitain/personnel sans fil (WMAN/WPAN), les réseaux locaux sans fil (WLAN IEEE 802.11a/n), le WiMax ou encore la LTE-4G. Cependant, l'inconvénient majeur de cette technique réside dans la génération de fortes fluctuations d'enveloppe du signal, définies par le PAPR.

Ces signaux à forte puissance instantanée sont affectés par les circuits radio-fréquence (RF), principalement l'amplificateur de puissance (RF-PA) dont les non-linéarités d'amplitude, de phase et les effets mémoire déforment le signal transmis. Ceci engendre des produits d'intermodulation et des remontées spectrales sur les canaux adjacents. Afin d'éviter ces distorsions, on applique habituellement un recul en puissance pour s'éloigner de la zone de saturation. Cette solution est pratique mais coûteuse car elle dégrade le bilan énergétique de l'émetteur. L'objectif des méthodes de réduction du PAPR est donc de réduire ces fluctuations pour un fonctionnement proche de la saturation, qui correspond aussi à la zone de haut rendement [1].

Le principe des méthodes de réduction du PAPR par entrelacement est simple : on applique plusieurs entrelacements sur les données binaires et/ou les symboles modulés et on sélectionne celui qui donne le plus faible PAPR [2]. Les résultats de cette technique sont prometteuses, au prix néanmoins d'une dégradation du débit due à l'envoi des informations auxiliaires liées à l'entrelaceur utilisé (SI, pour Side Information). Dans cette étude, nous revisitons cette technique en proposant un schéma qui garantit la compatibilité descendante [3] tout en maintenant les principaux critères de communication (TEB, débit, spécifications fréquentielles, etc). Dans ce schéma, nous procédons au codage des clés des entrelaceurs par un mapping BPSK qui réduit la quantité d'informations envoyées. Aussi, à l'image de la méthode TRNS (Tone Reservation using Null SubCarriers)[4] qui garantit la compatibilité descendante, la clé de l'entrelaceur utilisé à l'émetteur est transmise au récepteur via un minimum de sous-porteuses nulles disponibles dans les standards de communications. Les résultats de simulation dans le contexte de la norme WLAN IEEE 802.11a montrent une nette amélioration en terme de réduction du PAPR sans dégradation du spectre et du TEB. Ces résultats montrent aussi une bonne robustesse du processus de décodage des clés que nous avons mis en place au récepteur en présence d'un canal bruité et sélectif en fréquence.

2. Système OFDM

Un symbole OFDM noté x est une combinaison de N symboles modulés $X_i, i = 0, \dots, N-1$ et portés par N sous-porteuses. Un échantillon x_n de ce signal s'écrit :

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X_i e^{j \frac{2\pi n i}{N}} \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

Il est bien connu que la modulation OFDM est simple d'implémentation, elle offre une meilleure efficacité spectrale par rapport aux modulations mono-porteuse, une meilleure immunité et une robustesse contre les trajets multiples. Cependant comme l'indique la relation (1), le signal résultant de la superposition de plusieurs canaux indépendants peut générer une somme constructive et/ou

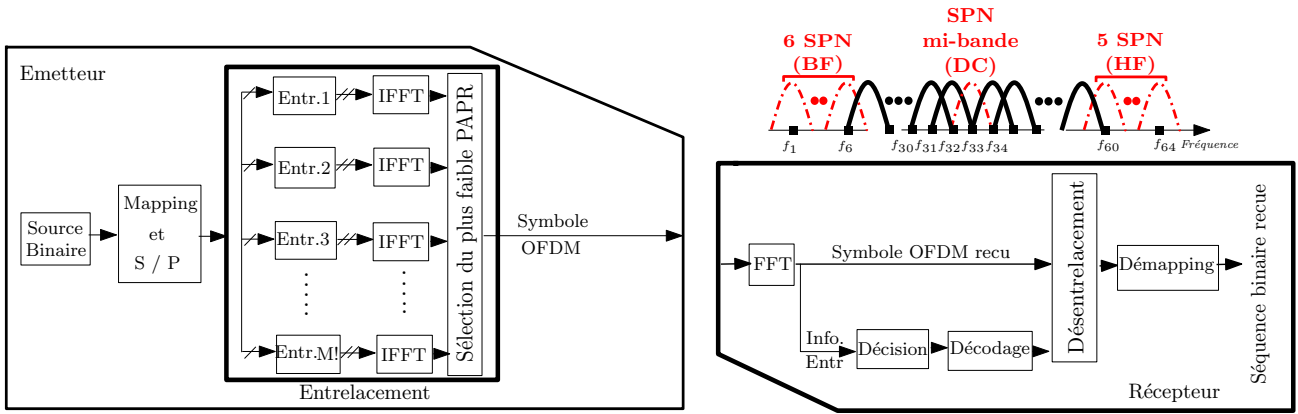


Figure 1. Application de la méthode d'entrelacement pour la réduction du PAPR

destructive, et par conséquent de fortes fluctuations d'enveloppe, qui sont quantifiées en utilisant le PAPR tel que :

$$\begin{aligned}
 PAPR_{dB} &= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{Peak}}{P_{Average}} \right) \\
 &= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\max_{0 \leq n \leq N-1} |x_n|^2}{E[|x_n|^2]} \right) \quad (2)
 \end{aligned}$$

où P_{Peak} et $P_{Average}$ représentent respectivement la puissance maximale et la puissance moyenne du signal OFDM.

3. Technique d'entrelacement appliquée à la réduction du PAPR

L'entrelacement est une technique d'éparpillement des données utilisée généralement avec le codage afin d'augmenter sa capacité de correction et lutter contre les erreurs en rafales en présence des phénomènes d'évanouissements dans les canaux sélectifs. À titre d'exemple, la figure (2) montre un exemple d'entrelacement matriciel utilisé pour modifier la répartition des données d'un symbole OFDM avec un nombre de sous-porteuses $N = 16$, nombre de mot-codes $M = 4$ et une longueur de mot-code $K = 4$. La répartition est basée sur l'emploi de la fonction modulo de $M = 4$ telle que :

$$Y_m^{K \times 1} = [X_{M*0+b_m} \ X_{M*1+b_m} \ \dots \ X_{M*(K-1)+b_m}] \quad (3)$$

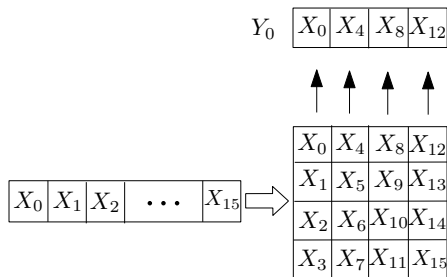


Figure 2. Exemple d'entrelacement matriciel pour $N = 16$ sous-porteuses et $M = 4$ mot-codes

où K est la longueur d'un mot et b_m est le reste de la division entière par M ($M = 4$ dans la fig. (2)).

À partir de cette première répartition, on peut obtenir $M!$ possibilités de représentation pour chaque symbole OFDM (24 possibilités dans le cas de 4 blocs), comme le montre la figure (3).

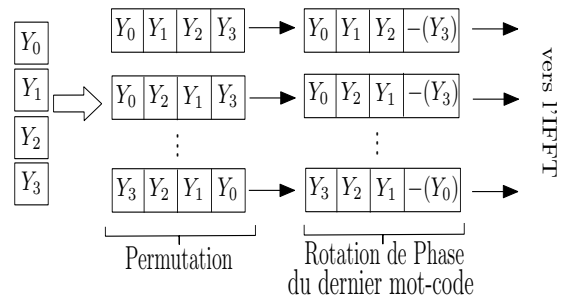


Figure 3. Possibilités d'entrelacement

3.a. Application à la réduction du PAPR

Les auteurs dans [2] ont utilisé l'entrelacement dans un nouveau schéma de réduction du PAPR basé sur la méthode SLM. Le principe est simple : à l'émission on applique plusieurs entrelaceurs, et on sélectionne celui qui présente le plus faible PAPR. En plus de leur apport en terme de réduction du PAPR, le point fort de cette technique est sa faible complexité par rapport aux techniques de codage [5] et aux méthodes probabilistes [6]. Cependant, elle a l'inconvénient de l'envoi des informations relatives à l'entrelacement utilisé, ce qui dégrade le débit et rend le système à compatibilité non-descendante (le récepteur ayant besoin de connaître l'entrelacement appliqué à l'émission).

Le schéma de réduction du PAPR par entrelacement adopté dans cette étude est basé sur le même principe (Fig. (1)). Cependant, l'idée est de prendre l'ensemble des possibilités d'entrelacement pour une forte probabilité d'amélioration des performances mais surtout, éviter de transmettre les informations auxiliaires sur les emplacements réservés aux données. Pour cela, l'idée est de :

- coder sur un mot binaire le rang de chaque entrelaceur puis le moduler en BPSK,

- utiliser les SPN pour transmettre la clé de l'entrelaceur (à noter sur la figure (1) la répartition des SPN pour le standard WLAN IEEE 802.11a),
- et procéder à la réception au décodage de la bonne clé. Pour cela un schéma basé sur le minimum d'erreurs est proposé afin de garantir une bonne probabilité de décodage en présence des bruits du canal.

3.b. Codage et décodage des clés d'entrelacement

Pour bien protéger les clés d'entrelacement contre les effets du canal, nous avons proposé un nouveau processus de codage et décodage robuste. Le principe est simple, les rangs d'entrelacement sont codés en binaire et modulés en utilisant la modulation BPSK.

Tableau 1. Les codes d'entrelacement

Entrelaceur	Code Binaire	Code BPSK
0	[0, 0, 0, 0, 0]	[-3, -3, -3, -3, -3]
1	[0, 0, 0, 0, 1]	[-3, -3, -3, -3, +3]
.	.	.
.	.	.
23	[1, 0, 1, 1, 1]	[+3, -3, +3, +3, +3]

Le tableau (1) présente le codage des clés d'entrelacement en binaire et leur équivalent en symbole mappé, où (-3) et (+3) sont les points de la constellation BPSK. Pour 24 entrelaceurs, les clés d'entrelacement sont codées sur 5 bits puis converties en symboles BPSK.

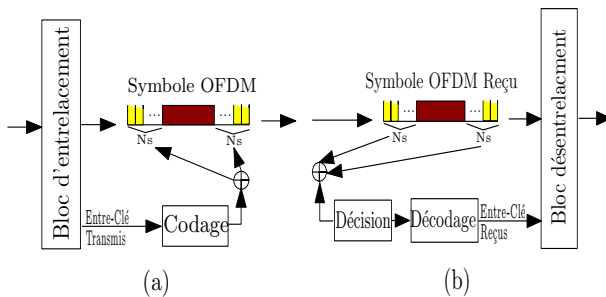


Figure 4. Schéma proposé (a) émission (b) réception

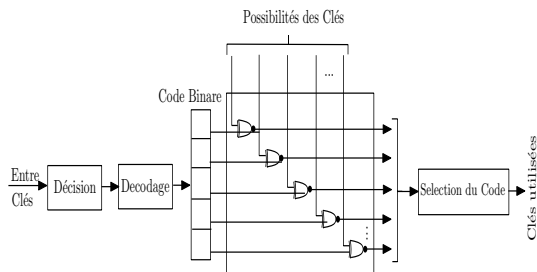


Figure 5. Méthode de calcul du code binaire de l'entrelaceur original

À la réception et après décodage, on extrait le code binaire de l'entrelaceur utilisé à l'émission. Le canal étant bruité, un risque existe d'obtenir un code binaire qui ne correspond à aucune possibilité d'entrelacement. Par

exemple, pour 24 possibilités d'entrelacement, les codes binaires sont sur 5 bits. On utilise donc 24 combinaisons parmi les $2^5 = 32$ possibilités (voir tableau (1)). Pour sélectionner le bon entrelaceur, on applique une comparaison du code binaire reçu avec toutes les possibilités en utilisant des portes logiques XOR (ou exclusif). La possibilité qui donnera un maximum de zéros sera retenue. La figure (5) présente ce principe de calcul des bonnes clés d'entrelacement au récepteur.

4. Résultats de simulation

Cette méthode a été évaluée en utilisant le standard WLAN 802.11a en utilisant les paramètres de simulation du tableau (2).

Tableau 2. Paramètres de simulation

Paramètre	Valeur
Nombre de sous-porteuse	64 (48 data, 4 pilotes et 12 SPN)
Modulation	16-QAM
Séquence binaire	384000 bits
Nombre de blocs OFDM	2000
Métriques	CCDF, TEB, spectre avant amplification
Nombre d'entrelaceurs :	
1 ^{er} cas	4! = 24 entrelaceurs codés sur 5 SPN
2 ^{ème} cas	5! = 120 interleaveurs codés sur 7 SPN
Canal Rayleigh :	
Période d'échantillonnage	10^{-3}
Fréquence max de doppler	0
Retards du trajet	[0, 10^{-5} , $3.5 \cdot 10^{-5}$, $12 \cdot 10^{-5}$]
Gains	[0, -1, -1, -3]

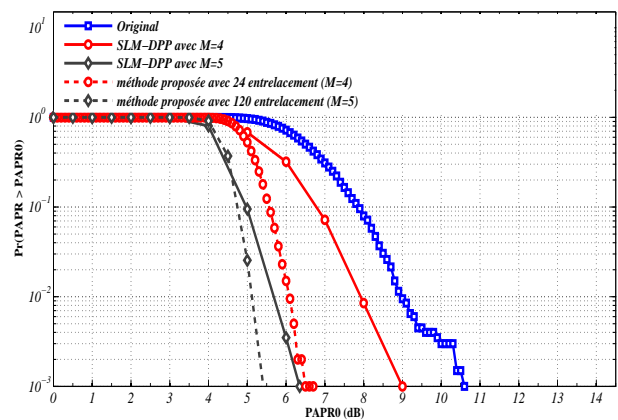


Figure 6. CCDF Pr(PAPR>PAPR0)

La CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function) permet de visualiser la distribution de la valeur du PAPR. La figure (6) montre la comparaison des courbes de CCDF obtenues pour la méthode SLM [2] et la méthode proposée. Cette comparaison est réalisée pour un nombre de blocs identiques pour les deux méthodes ($M = 4$ et $M = 5$). De façon générale et pour les deux techniques, on peut noter que l'augmentation du nombre de bloc améliore les performances. avec jusqu'à 5 dB de réduction dans le cas de la méthode proposée avec $M = 5$. Aussi, on remarque que la méthode que nous proposons donne de meilleurs résultats par rapport à la

technique SLM avec une différence de l'ordre de 2.6 à 1 dB respectivement pour $M = 4$ et 5 blocs. On rappelle que même si les résultats des deux techniques sont sensiblement proches, la méthode proposée est à compatibilité descendante, ce qui n'est pas le cas de la technique SLM.

Nous avons tracé sur la figure (7) les courbes de TEB (Taux d'Erreur Binaire) obtenues avec différents SNR (rapport signal à bruit) pour un canal gaussien (AWGN) et un canal sélectif en fréquence (canal de Rayleigh). On constate que l'entrelacement n'affecte pas les performances du système en terme de TEB dans les deux cas et permet d'obtenir les mêmes courbes que celles sans technique d'entrelacement. Ceci indique que la méthode proposée ne dégrade pas les données en présence de différents canaux.

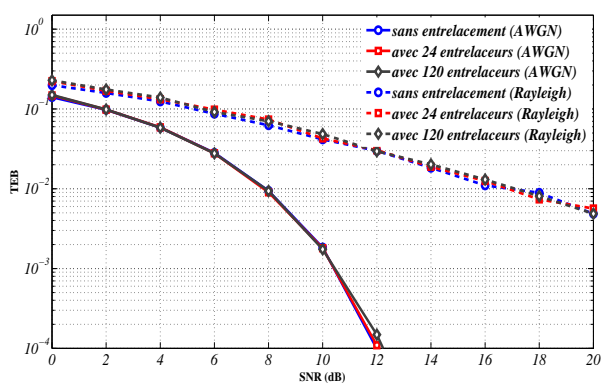


Figure 7. TEB versus SNR

La figure (8) montre la probabilité de décodage et de calcul de la bonne clé d'entrelacement en fonction du bruit de canal (probabilité supérieure à 0.96 même à faible SNR). Ceci permet de valider la technique de codage, d'envoi via les SPN et de décodage des informations auxiliaires sur l'entrelaceur original.

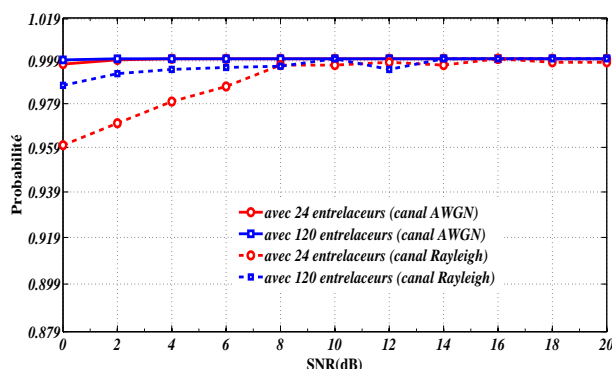


Figure 8. Probabilité de Décodage

Les spectres de la figure (9) permettent de conclure quant à la possibilité d'utilisation des SPN tout en respectant le masque fréquentiel du standard.

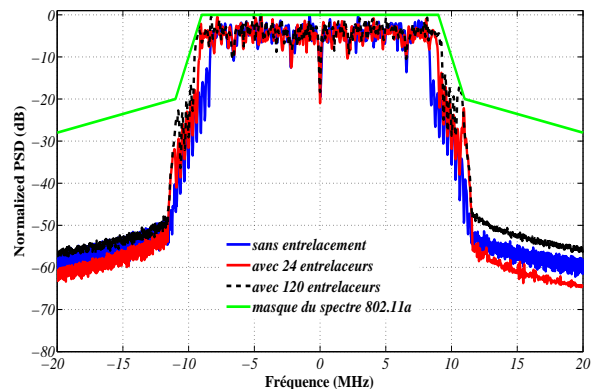


Figure 9. Réponses fréquentielles

5. Conclusion

L'étude présentée a permis d'évaluer les performances d'un nouveau schéma de réduction du PAPR par entrelacement. L'idée développée consiste à utiliser plusieurs entrelaceurs à l'émission, choisir celui qui donne le plus faible facteur de crête et transmettre ces informations via les sous-porteuses nulles. Cette technique permet une amélioration des performances en terme de réduction du PAPR sans dégradation des critères de communication (TEB et réponse fréquentielle).

Ces résultats permettent d'envisager une amélioration du rendement de l'étage d'amplification, tout en conservant la même qualité de service.

Références

- [1] L. Yves and P. Jacques, *A classification of methods for efficient power amplification of signals*. annals of telecommunications - annales des télécommunications, Vol. 63, pp. 351-368, aug 2008.
- [2] J. H. Wen, G. R. Lee, C. C. Kung, C. Y. Yang, *Coding Schemes Applied to Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) Reduction in OFDM Systems*. 2008 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, pp. 807-812, aug 2008.
- [3] H. G. Ryu, S. K. Kim, S. K. Ryu, *Interleaving method without side information for the PAPR reduction of OFDM system*. 2007 International Symposium on Communications and Information Technologies, pp. 72-76, oct 2007.
- [4] H. Su and all, *Nonlinearity Reduction by Tone Reservation with Null Subcarriers for WiMAX System*. Wireless Personal Communications, Vol. 54, pp. 289-305, 01 Jul 2010.
- [5] A.E. Jones, T.A. Wilkinson, and S. K. Barton, *Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission schemes*. Electronics Letters, Vol. 30, pp. 2098-2099, Dec 1994.
- [6] S. H. Muller and J. B. Huber, *OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences*. Electronics Letters, Vol. 33, pp. 368-369, feb 1997.