

Utilisation conjointe d'une réduction de PAPR via une loi μ et d'un modèle comportemental pour la linéarisation d'un transmetteur optique

Mohamad Younes^{1,2}, Stéphane Azou², Noël Tanguy¹, Mihai Telescu¹, Pascal Morel², Cherif Diouf²

¹ Université de Bretagne Occidentale / CNRS UMR 6285 Lab-STICC, Brest, France

² École Nationale d'Ingénieurs de Brest / CNRS UMR 6285 Lab-STICC, Brest, France

Mohamad.Younes@univ-brest.fr

Dans cette communication, nous étudions quelques techniques de traitement numérique du signal visant à compenser les effets non-linéaires inhérents à la modulation optique ou à l'amplification, réalisée à l'aide d'un amplificateur à semi-conducteurs (SOA), au sein d'un transmetteur CO-OFDM [1]. Deux approches complémentaires sont considérées en particulier : la réduction du facteur de crête¹ et la linéarisation par une pré-distorsion numérique en bande de base (figure 1). La réduction de PAPR est un moyen classique de réduire l'impact de non-linéarités dans les systèmes télécoms; nous explorons ici l'intérêt de la transformée non-linéaire de type loi μ [2], constituant une solution de référence dans la littérature. Nous montrons alors qu'une linéarisation des propriétés dynamiques du transmetteur [3], en complément de la réduction de PAPR, offre de meilleures performances.

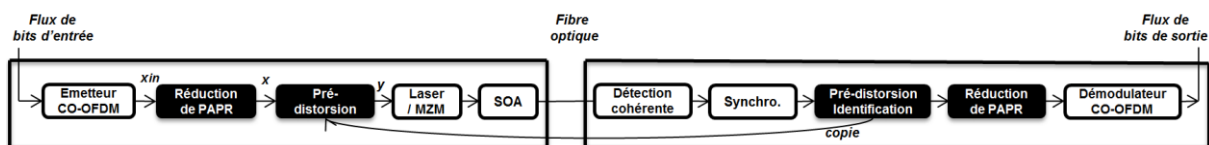


Figure 1. Système CO-OFDM basé sur une co-simulation Matlab/ADS, incluant une réduction de PAPR et une pré-distorsion.

Le principe général d'une réduction de PAPR à l'aide de transformées non-linéaires consiste à modifier l'amplitude des échantillons originaux $x_{in}(n)$ en bande de base à l'aide d'une fonction particulière $h(\cdot)$ permettant de corriger les propriétés dynamiques du signal; les pics de puissance inhérents aux signaux multi-porteuses sont en particulier atténués. Le signal résultant est alors converti sous forme analogique. Au récepteur, le signal bruité reçu subit alors la transformée inverse pour retrouver $x_{in}(n)$ plus un terme de bruit. La fonction caractéristique de la loi μ , non détaillée ici, ne dépend que d'un seul paramètre clé μ , facilement ajustable, pour contrôler l'écrêtage de signal.

Un bloc de pré-distorsion peut aussi être mis en œuvre afin d'inverser les effets non-linéaires agissant en aval (du niveau modulateur optique, puis du SOA), en absence de la réduction de PAPR. En sortie du bloc de pré-distorsion, nous avons alors le signal $y(n) = G(|x(n)|).x(n)$, où $G(|x(n)|)$ désigne le gain complexe instantané de compensation, selon un modèle polynomial, et $x(n)$ étant le signal en sortie du bloc de réduction de PAPR. Cette solution peut être étendue en rajoutant au modèle polynomial statique d'ordre P un filtre à réponse impulsionnelle finie² d'ordre M en parallèle.

Une séquence d'apprentissage est dédiée à l'identification des coefficients de ce bloc de linéarisation, qui utilisé seul présente l'inconvénient d'augmenter les pics de puissance instantanée.

Pour illustrer la contribution des deux blocs de réduction de PAPR et de linéarisation, séparément ou de façon combinée, nous nous focalisons sur le cas d'une transmission QPSK/OFDM de bande 5 GHz avec 128 ou 512 sous-porteuses. Un ordre $P = 5$ et une profondeur mémoire $M = 2$ s'avèrent pertinents pour étudier les performances. La figure 2 montre les résultats obtenus, en termes d'EVM en fonction de la puissance d'entrée (P_{in}) du SOA, pour divers traitements : absence de réduction de PAPR et de linéarisation (système conventionnel), avec réduction de PAPR via une loi μ , avec une linéarisation via le STATIC//FIR (SPF) et avec combinaison de la loi μ et de la pré-distorsion via SPF.

¹ Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)

² Finite Impulse Response (FIR)

Il peut être clairement observé qu'une utilisation conjointe de réduction de PAPR et d'une linéarisation offre un gain de performance appréciable. Les effets non-linéaires se comportent plus fortement en fonction du nombre de sous-porteuses, pour des puissances P_{in} élevées (figure (2)).

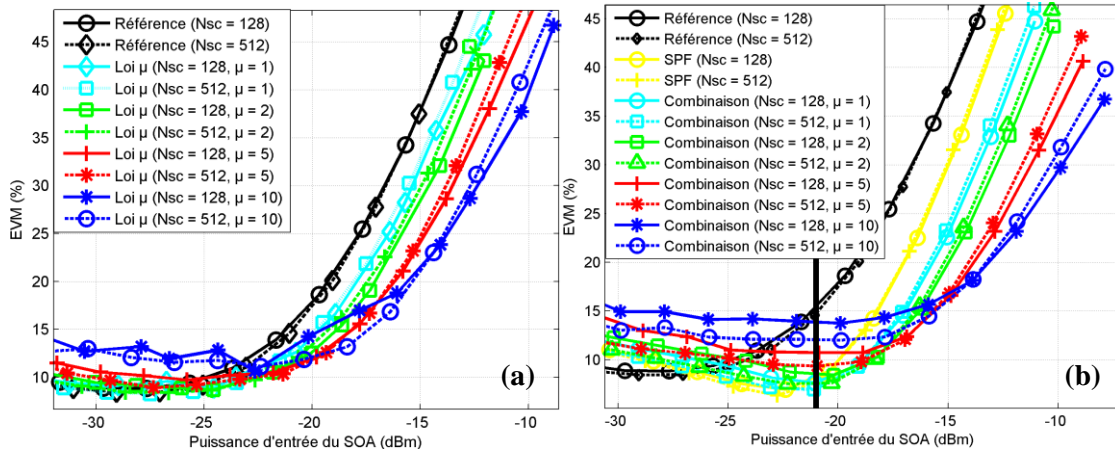


Figure 2 : Effets de μ et de Nsc (a) en présence du bloc de réduction de PAPR, sans pré-distorsion (b) en présence de la combinaison pré-distorsion/réduction de PAPR, pour $P_{ref} = -21$ dBm

La figure 3 montre l'influence de la puissance injectée dans l'amplificateur et de la puissance d'identification (P_{ref}) sur les performances de la combinaison entre le pré-distorseur (SPF) et la réduction de PAPR (pour $\mu = 5$). L'utilisation conjointe des deux approches réalise alors un compromis tout à fait intéressant, permettant d'élargir la plage de fonctionnement du transmetteur.

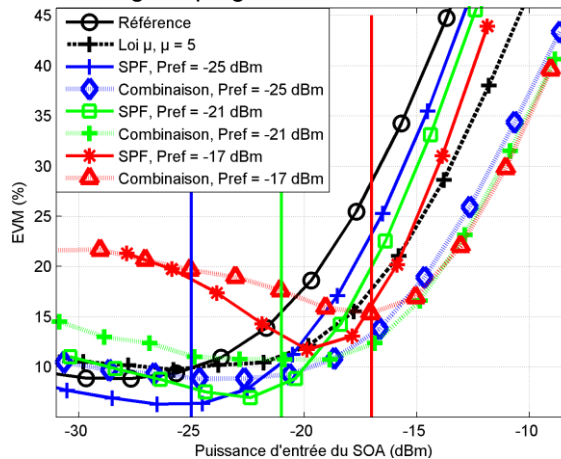


Figure 3 : Effets de P_{ref} sur les performances de la combinaison (SPF et loi μ), pour $\mu = 5$ et Nsc = 128

La compensation d'effets non-linéaires pour un transmetteur OFDM optique cohérent a été étudiée dans ce travail. Nous avons montré l'intérêt d'un ajustement des propriétés dynamiques des signaux en bande de base en jouant à la fois sur la réduction de facteur de crête via une loi μ et sur la linéarisation des caractéristiques de l'émetteur. Ce travail sera poursuivi par une étude expérimentale, en considérant d'autres modèles comportementaux que la solution SPF pour linéariser le dispositif et d'autres techniques de réduction de PAPR.

Références :

- [1] N. Cvijetic, "OFDM for Next-Generation Optical Access Networks," J. Lightw. Technol., vol. 30, no. 4, feb. 2012.
- [2] S. Azou, S. Bejan, P. Morel, A. Sharaiha, "Performance Improvement of a SOA-based Coherent Optical-OFDM Transmission System via Nonlinear Companding Transforms", Optics Comm., vol. 336, 2015.
- [3] L. Guan, A. Zhu, "Green Communications: Digital Predistortion for Wideband RF Power Amplifiers", IEEE Microw. Mag., nov./dec. 2014.