

Une nouvelle méthode d'implémentation de l'OFDM adaptatif dans les systèmes optiques pour la montée en débit dans l'accès

Max Fréjus O. Sanya^{1,2}, Christelle Aupetit-Berthelemot¹

¹*XLIM, UMR CNRS 7252, Université de Limoges, 123 avenue Albert-Thomas, 87060 Limoges, France*

²*LETIA, EPAC, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin*

Une nouvelle méthode d'implémentation de l'OFDM adaptatif a été simulée et comparée avec la méthode de Levin-Campello (LC) pour la montée en débit dans l'accès avec des composants bas coûts. La nouvelle méthode (MET) présente des performances quasi-similaires à la méthode LC mais avec l'avantage d'être implémentée pour n'importe quelle valeur de TEB cible, différente de celles proposées dans des tables pour Levin-Campello. Pour les paramètres étudiés avec une liaison IM/DD (TDM-PON), un débit de 14 Gb/s MET-OFDM est réalisable sur 60 km avec un taux de partage de 64 utilisateurs pour un TEB cible de 10^{-3} , ou 12 Gb/s avec un TEB cible de 2.23×10^{-4} .

1. Introduction

L'évolution rapide des services et applications multimédias (Internet très haut débit, visiophonie, télévision haute définition, en 3D...) a entraîné un besoin en débit croissant dans les réseaux d'accès. Face à cette demande incessante de bande passante, les normalisations IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) et ITU (International Telecommunication Union) ont introduit le FTTH (Fiber To The Home), et les systèmes à 10 Gb/s NG-PON1 (Next Generation Passive Optical Network) sont en phase de déploiement [1]. Une autre proposition adoptée est le NG-PON2 qui prévoit des débits de l'ordre de 40 Gb/s pour des distances pouvant atteindre les 60 km ou plus, avec des taux de partage d'au moins 64 utilisateurs, sans modification possible de l'infrastructure de base. Dans ce contexte, des formats de modulation à efficacité spectrale meilleure que le NRZ pourraient être retenus. L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une modulation présentant une grande robustesse face aux canaux sélectifs en fréquence [2], tels que la fibre optique. L'OFDM adaptatif est une solution pour accroître l'efficacité spectrale, tout en garantissant une meilleure performance du système. Dans ce papier, nous présentons une nouvelle méthode « MET (Minimization E-Tighted) » pour implémenter l'OFDM adaptatif dans l'accès. Les résultats seront comparés avec ceux du Levin-Campello (LC) [3], classiquement utilisée pour une liaison IM/DD à fibre optique.

2. Description des méthodes LC et MET

L'algorithme LC est souvent utilisé pour accroître le débit d'une liaison optique modulée avec l'OFDM en allouant un nombre de bits optimal sur chacune des sous-porteuses de l'émetteur tout en respectant la contrainte de puissance totale disponible. Après estimation du canal réalisée par l'envoi de symboles connus à la fois de l'émetteur et du récepteur, le rapport signal-à-bruit SNR de chacune des sous-porteuses est calculé. C'est alors que débute l'algorithme LC en deux étapes essentielles. La première étape ou « Rate adaptive (RA) » consiste à allouer le maximum possible de bits ($b_n, n=1:N$) aux sous-porteuses de fort SNR et le moins de bits pour celles dont le SNR est faible. A la fin de cette étape de maximisation du débit, la deuxième étape dite « Energy Tighted (ET) » vient adapter la meilleure combinaison de puissance E_n nécessaire pour chacune des sous-porteuses de manière à respecter la contrainte de puissance totale permise. Ceci est traduit par les relations (1) et (2) où D est le débit réalisé, P_t la puissance signal émise, N le nombre de sous-porteuses utiles et Γ le gap en SNR fonction de

$$D = \max \left\{ \sum_{n=1}^N \log_2 \left[1 + \frac{(E_n \cdot SNR_n)}{\Gamma} \right] \right\} \text{ pour } \sum_{n=1}^N E_n = P_t \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{1}{3} \left[Q^{-1} \left(\frac{TES}{4} \right) \right]^2 \text{ où } Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (2)$$

la constellation utilisée et du taux d'erreur symbole (TES). Pour des QAM, le gap est calculé [3] selon (2). De (1) et (2), on comprendra que la méthode LC est basée sur la connaissance du gap Γ fonction du TES et non du taux d'erreur binaire (TEB) nécessaire en pratique. Il a été proposé et utilisé par différents chercheurs, une table de valeurs $\Gamma = f(BER)$ où le gap est supposé constant quelle que soit la constellation utilisée [4]. Dans ce papier, l'implémentation est désormais réalisable en termes de BER cible. Avec la méthode MET que nous proposons, le gap sera considéré tel défini dans (2) et il ne sera plus question de le supposer constant tout en réalisant une optimisation en termes de TEB cible non tabulé. Pour ce faire, considérant $TES = b_n \times TEB_n$ et en égalant les expressions de Γ issues de (1) et (2), on obtient l'expression (3). La minimisation de la fonction $f(b_n)$ permet d'obtenir une distribution quasi-optimale des bits b_n fonction du SNR_n et du TEB cible fixé : ceci constitue la première phase de la méthode MET. Le TEB est calculé en fonction de l'EVM (Error vector magnitude) des

différentes sous-porteuses comme dans [2]. Après cette étape de minimisation de $f(b_n)$, l'étape « Energy Tighted » est implémentée pour obtenir une distribution optimale de la puissance sous la contrainte P_t .

$$\Gamma_n = \frac{SNR_n}{(2^{b_n} - 1)} \approx \frac{1}{3} \left[Q^{-1} \left(\frac{TEB \times b_n}{4} \right) \right]^2$$

$$f(b_n) = \left[\frac{SNR_n}{(2^{b_n} - 1)} \right]^2 - \frac{1}{3} \left[\frac{SNR_n}{(2^{b_n} - 1)} \left[Q^{-1} \left(\frac{TEB \times b_n}{4} \right) \right]^2 \right]$$
(3)

3. Simulation de l'OFDM adaptatif dans une liaison optique IM/DD : Résultats et Conclusion

La liaison simulée est basée sur une architecture TDM-PON (Time Division Multiplexing PON) illustrée par la Figure 1(a). L'atténuateur optique variable (VOA) permet de faire varier le budget optique (BO). Le signal OFDM est composé de 496 symboles générés avec Matlab et converti en analogique via un DAC à 12 GS/s (\approx bande passante de 6 GHz). Le signal OFDM émis (255 sous-porteuses, IFFT de taille 512, préfixe cyclique de 1/64) est rendu réel par l'utilisation d'une symétrie hermitienne. Il module directement un laser DFB type LMA 1915 de bande passante 7.5 GHz à 1550 nm. La puissance optique est de 9 dBm. Une fibre standard SMF est utilisée. A la réception, le signal est détecté puis converti en électrique par une photodiode PIN avec un amplificateur transimpédance de 8 GHz de bande passante et ensuite démodulé. Le canal optique est simulé avec VPIphotonics et la modulation/démodulation OFDM sous MATLAB. Les algorithmes adaptatifs LC et MET sont implémentés pour un TEB cible = 10^{-3} . Les formats QAM supportés varient entre la PSK et la 64-QAM. Les résultats obtenus pour différentes distances de fibre en termes de débit utile avec un taux de partage 1x64 sont présentés sur la Figure 1(b). Le cas d'une transmission de 20 km est illustré par la Figure 1(c). On remarque que la distribution des bits épouse l'allure du canal (ou du SNR) et la puissance est allouée en conséquence. Les deux méthodes présentent des débits quasi-similaires (Figure 1(b)) et il est possible de réaliser une transmission de 14 Gb/s à 60 km pour les paramètres étudiés. L'avantage avec la méthode MET développée est qu'elle permet de choisir n'importe quel TEB cible pour l'optimisation, sans utiliser des tables de Γ prédéfinies (cas TEB = 2.23×10^{-4} de la Figure 1(b)).

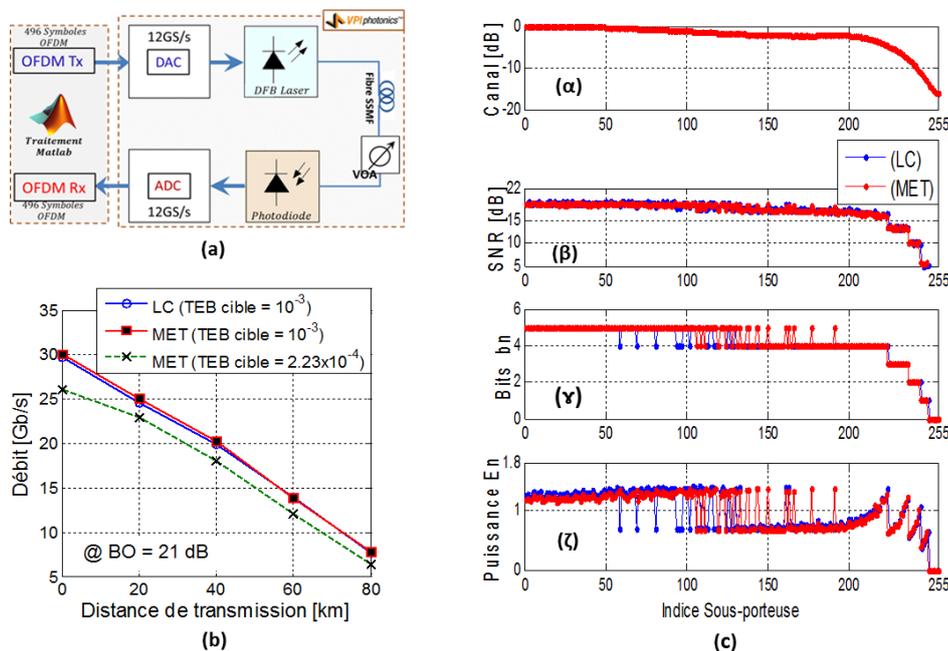


Figure 1 : (a) Liaison OFDM IM/DD simulée en TDM-PON. (b) Débit réalisé en fonction de la distance pour 20 km et BO = 21dB. (c) Distributions obtenues avec les méthodes (LC) et (MET) pour 20 km : (α) Réponse du canal, (β) Distribution du SNR, (γ) Distribution des bits, (ζ) Puissance allouée par sous-porteuse.

Références :

- [1] P. Chanclou, et al., "Network Operator Requirements for the Next Generation of Optical Access Networks", IEEE Network Journals & Magazines, vol.26, 2012.
- [2] M. F. Sanya, et al., "DC-biased optical OFDM for IM/DD passive optical network systems", IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 7(4), 2015.
- [3] B. Charbonnier, et al., "Capacity optimization for optical links using DMT modulation, an application to POF", ECOC, 2008.
- [4] L. Peng, et al., "On Bit-Loading for Discrete Multi-Tone Transmission Over Short Range POF Systems," Journal of Lightwave Technology, 31(24), 2013.