LE TRÈS HAUT DÉBIT SUR LONGUES PORTÉES DANS LES RÉSEAUX D'ACCÈS OPTIQUES AVEC LE DUAL-EML

Mohamed Essghair Chaibi[1], Thomas Anfray[2], Christophe Kazmierski[3], Christelle Aupetit-Berthelemot[2] et Didier Erasme[1]

[1] *Institut MINES-TELECOM, TELECOM ParisTech, CNRS LTCI, 46 Rue Barrault, 75634 Paris, France*

[2] *XLIM-CNRS, Université de Limoges, 16 Rue Atlantis, 87068 Limoges, France*

[3] *III-V Lab-Common laboratory of "Alcatel-Lucent Bell Labs France","Thales Research and Technology" and "CEA Leti" Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France*

chaibi@telecom-paristech.fr

RÉSUMÉ

La génération de signaux optiques à bande latérale unique (SSB: Single Sideband), adaptés à la transmission dans un canal dispersif à détection directe, par un laser modulateur intégré à modulation duale (D-EML) est généralisée pour un signal modulant large bande. La faisabilité de la technique est démontrée par la transmission d'un signal OFDM de bande 6 GHz, permettant un débit binaire utile de 16.8 Gb/s, dans un contexte SSB sur un canal optique dispersif de 150 km.

MOTS-CLEFS : *Dual-EML; SSB; OFDM.*

1. INTRODUCTION

Les réseaux d'accès optiques sont en grande partie basés sur un canal dispersif à détection directe. À l'émission, la modulation d'intensité (IM) résulte en un signal optique à deux bandes latérales (DSB : Double Sideband) connu par son inefficacité spectrale. La propagation dans un milieu dispersif fait que chaque composante fréquentielle se propage à une vitesse propre. À la réception, des composantes fréquentielles représentant la même information peuvent arriver en phase et d'autres en opposition de phase, leur battement avec la porteuse optique, opéré par une photo-diode, résulte en des interférences constructives ou destructives d'où la distorsion du signal transmis. La sélectivité fréquentielle du canal de propagation est supprimée avec les signaux SSB où l'une de deux bandes latérales est éliminée. Ces signaux sont communément générés par des modulateurs I/Q ou des filtres optiques : techniques à la fois coûteuses et encombrantes.

Pour lever les challenges techniques et économiques liés au déploiement des réseaux d'accès optiques, une nouvelle source d'émission optique a été récemment proposée. Nous l'avons appelée D-EML pour Dual-Electroabsorption Modulated Laser. Il s'agit d'un laser DFB monolithiquement intégré avec un modulateur à électroabsorption (EAM) avec deux accès indépendants de modulation. L'accès de modulation ajouté au laser DFB vise à favoriser et à contrôler son comportement fréquentiel. D-EML est caractérisé par une simple structure, un encombrement réduit et une faible consommation d'énergie. En [1], nous avons montré la capacité de cette source à générer des signaux SSB quand elle est modulée par un signal OFDM large bande.

Dans cet article, Le débit de la transmission est augmenté grâce à des formats de modulation de haute efficacité spectrale et à l'augmentation de la bande du signal modulant. La capacité du D-EML à générer des signaux SSB sera tout d'abord expliquée. Le montage expérimental utilisé pour générer et transmettre ces signaux sera ensuite décrit. Dans la troisième partie, les performances des transmissions seront présentées et discutées.

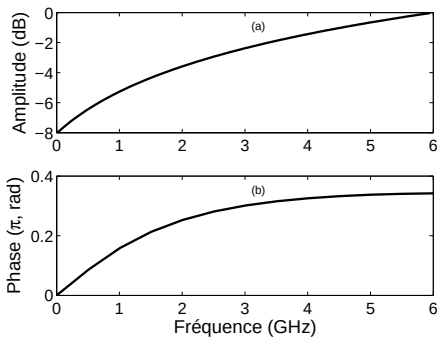


FIGURE 1: Réponses en amplitude (a) et en phase (b) du filtre requis.

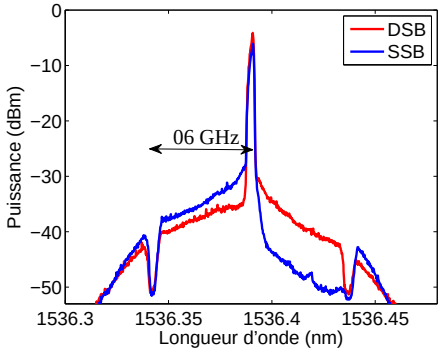


FIGURE 2: Spectres SSB et DSB générés (Résolution=1.44 pm).

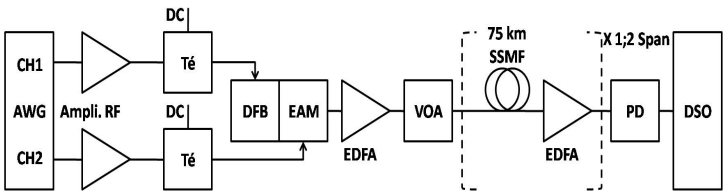


FIGURE 3: Montage expérimental. AWG : Générateur de fonctions arbitraires. DSO : Oscilloscope numérique. EDFA : amplificateur à fibre dopée à l'erbium. SSMF : Fibre monomode standard. VOA : Atténuateur optique.

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La génération de signaux SSB par un D-EML repose sur la capacité du laser DFB à se comporter comme un modulateur de fréquence (FM) quand il est modulé en petit signal. Ceci est d'autant plus possible que le coefficient de chirp du laser DFB est grand. L'EAM, quant à lui, garde le comportement d'un pur modulateur d'intensité (IM). Le signal SSB est généré si les modulations IM et FM sont en phase ou en opposition de phase et l'indice de modulation FM, m_{FM}, est égal à la moitié de l'indice de modulation IM, m_{IM}. Pour un signal monotone modulant séparément le laser DFB et l'EAM, le déphasage entre les deux modulations peut être ajusté par une simple ligne à retard à insérer dans l'un des accès de modulation. Des atténuateurs RF permettent de contrôler les amplitudes des signaux modulants et par suite les indices de modulations m_{FM} et m_{IM}. Pour un signal modulant large bande, les conditions de génération des signaux SSB doivent être satisfaites pour chaque composante fréquentielle. Étant donnée la non-linéarité du déphasage régnant entre les modulations IM et FM et sachant que m_{FM} est une fonction de la fréquence alors que m_{IM} ne l'est pas [1], une ligne à retard et des atténuateurs RF ne permettent plus de satisfaire les conditions de génération des signaux SSB. Pour remédier à ces contraintes, nous proposons l'insertion d'un filtre RF dans l'accès de modulation du laser DFB. La réponse en amplitude de ce filtre est conçue pour rendre m_{FM} indépendante de la fréquence. Le déphasage introduit par ce filtre permet d'avoir un déphasage nul entre les deux modulations. Les réponses en amplitude et en phase du filtre requis sont montrées dans la figure 1. Ce filtre sera implémenté numériquement.

3. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Le montage expérimental utilisé pour générer le signal SSB est présenté dans la figure 3. Le signal OFDM modulant est constitué de 300 symboles OFDM, chacun d'eux est généré comme suit : 256 symboles à l'entrée de l'IFFT sont organisés afin d'avoir une symétrie hermitienne. 127 sous-porteuses, modulées en 8-QAM circulaire, transportent les données utiles et 16 échantillons par symbole OFDM sont utilisés comme préfixe cyclique. Deux copies du signal numérique sont utilisées : la première est directement envoyée au convertisseur numérique analogique (DAC) pour moduler l'EAM et la deuxième est numériquement filtrée avant d'être envoyée au DAC pour moduler le laser DFB. Les signaux OFDM

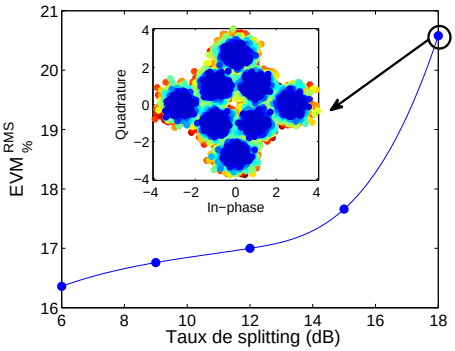


FIGURE 4: EVM pour différents taux de splitting après 75 km.

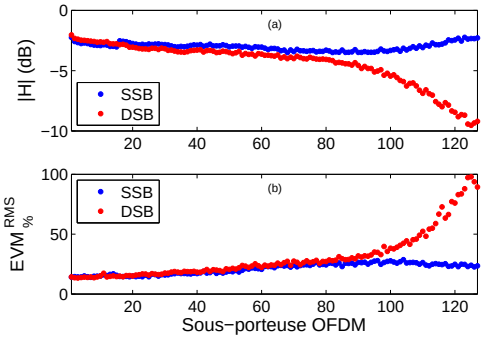


FIGURE 5: Réponse du canal (a) et EVM (b) par sous-porteuse après 150 km.

analogiques sont générés à 12 GSymboles/s, ils occupent la bande [DC ; 06 GHz] et ils permettent un débit binaire utile de 16.8 Gb/s. Ces signaux sont amplifiés avant d'être superposés aux composantes DC, 80 mA pour le laser DFB et -2.6 V pour l'EAM, avec deux Tés de polarisation. Le gain de l'amplificateur de l'EAM est ajusté pour que la conversion électrique-optique soit faite dans la zone linéaire de l'EAM. Pour la valeur fixée de m_{IM}, le gain de l'amplificateur du laser DFB est optimisé pour avoir la valeur adéquate de m_{FM}. Les signaux optiques sont visualisés sur un OSA à très haute résolution. Les transmissions sont effectuées sur un canal dispersif à détection directe de 75 km et 150 km selon le montage montré dans la figure 3. À la réception, une photo-diode (PD) opère la conversion optique-électrique et un DSO échantillonne le signal électrique à 50 GSymboles/s. Les signaux OFDM sont ensuite traités sous Matlab.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le spectre du signal SSB généré est montré dans la figure 2. Il est superposé au spectre DSB correspondant obtenu en modulant uniquement l'EAM. Afin de mieux distinguer le contexte SSB, les 7 sous-porteuses OFDM hautes fréquences ne sont pas modulées. Le SBPR, mesurant le ratio de puissances de bandes latérales, dépasse 12 dB pour toutes les composantes de modulation. Les performances des transmissions sont présentées en terme d'EVM (Error Vector Magnitude). Après propagation sur un canal de 75 km dans un contexte SSB, la figure 4 montre l'évolution de l'EVM, moyenné sur toutes les sous-porteuses, pour différents taux de splitting. Les signaux SSB peuvent se propager sur des portées plus longues sans être dégradés par la dispersion chromatique. Ceci est illustré dans la figure 5 montrant la réponse du canal et l'EVM par sous-porteuse OFDM après 150 km. Alors que le signal SSB permet une réponse fréquentielle plate, les trous de fading caractérisant un canal sélectif en fréquence apparaissent clairement dans le contexte DSB. Les sous-porteuses affectées par le fading présentent un EVM élevé dépassant 97%. Dans le contexte SSB, la valeur moyenne de l'EVM est 21% à comparer à 30.95% obtenue avec des signaux DSB.

CONCLUSION

Une source optique prometteuse pour les réseaux d'accès optiques est présentée. Elle exploite le chirp du laser DFB pour générer des signaux SSB quand elle est modulée par des signaux OFDM large bande. Un débit binaire de 16.8 Gb/s est transmis sur un canal dispersif à détection directe de 150 km. Le débit binaire peut être augmenté en exploitant toute la bande passante du laser DFB, soit 12 GHz.

RÉFÉRENCES

[1] M. Chaibi, *et al*. "Generation of SSB Optical Signals with Dual-EML Modulated with Wideband OFDM," in CLEO : 2014, paper SW1J.6.