



Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université du Bénin doit être abrégé sous la forme: J. Rech. Sci. Univ. Bénin (Togo). Les sommaires du Journal de la Recherche Scientifique de l'Université du Bénin (Togo) sont indexés dans la base de données francophone IBISCUS.



<http://www.ajol.info/index.php/jrsul>

ISSN 1727 – 8651

JOURNAL
de la
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
de
L'UNIVERSITÉ DE LOMÉ



LOME - TOGO

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé est
référéncé dans African Journal on Line (AJOL) [www.inasp.org/ajol]

VOLUME 17
(2015)

Numéro 2

ETUDE ET SIMULATION DES TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE OFDM POUR UNE LIAISON OPTIQUE DU TYPE IM/DD

STUDY AND SIMULATION OF OFDM MULTIPLEXING TECHNIQUES FOR IM / DD OPTICAL LINK

DJOGBE L.*, SOTINDJO P., VIANOU A., AGOSSOU C.

Laboratoire d'Electrotechnique, de Télécommunications et Informatique Appliquée (LETIA),
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université Abomey-Calavi, Bénin
01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

(*) E-mail : leopold.djogbe@epac.uac.bj

(Reçu le 22 Janvier 2015 ; Révisé le 12 Juin 2015 ; Accepté le 29 Juin 2015)

RESUME

Dans un contexte de multiplexage OFDM sur une liaison optique de type IM/DD, le présent document rend compte de la sensibilité au bruit des techniques ACO-OFDM et DCO-OFDM pour plusieurs niveaux de codage QAM et pour plusieurs tailles de symboles OFDM. Il fait aussi état d'une comparaison entre deux techniques de génération de sous-porteuses basées respectivement sur la DFT et la DHT pour l'implémentation de l'OFDM sur la liaison optique du type IM/DD. Pour ce faire, une modélisation de l'émetteur OFDM et du récepteur OFDM a été effectuée et implémentée dans MATLAB. La simulation de ce modèle a révélé que, pour un même RSB de 20 dB, la technique ACO-OFDM (présentant un TEB de 0.0083) est moins sensible au bruit que la technique DCO-OFDM (dont le TEB est de 0.3413). Il est aussi remarqué que, pour un même RSB, l'implémentation de la DFT en matière de génération de sous porteuses présente de meilleures performances en comparaison avec la DHT. Toutefois, en matière de débit utile et de complexité d'implémentation, l'ACO-OFDM est moins performante que la DCO-OFDM ainsi que la technique de génération de sous-porteuses basée sur la DFT à côté de celle basée sur le DHT.

Mots clés : OFDM, DHT-OFDM, DFT-OFDM, ACO-OFDM, DCO-OFDM.

ABSTRACT

This article compares the multiplexing techniques ACO-OFDM and DCO-OFDM by evaluating effect of noise on their performance. This document makes also a comparison between two techniques of generating orthogonal subcarriers named DFT (Discrete Fourier Transform) and DHT (Discrete Hartley Transform) for the implementation of OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) in an IM / DD (Intensity Modulated Direct Detection) optical link. To do this, a model of the OFDM transmitter and OFDM receiver which connected with a channel affected by noise, has been made and implemented in MATLAB. The simulation of this model reveals that the ACO-OFDM is less sensitive to noise in comparison to the DCO-OFDM technique. Indeed, for a SNR of 20 dB, ACO-OFDM has a BER of 0.0083 while DCO-OFDM presents a BER of 0.3413. Similarly, it is noted that the implementation of the DFT for generating subcarriers presents better performance in comparison to a DHT. Indeed, for a SNR of 5 dB, the DFT has a BER of 0.001979 while DHT presents a BER of 0.05281. However, in terms of useful bit rate and implementation complexity, the ACO-OFDM is penalized relative to the DCO-OFDM. Similarly, the technique for generating subcarriers based on the DFT is penalized in comparison with DHT on the same criteria.

Keywords: OFDM, DHT-OFDM, DFT-OFDM, ACO-OFDM, DCO-OFDM

INTRODUCTION

La technique de multiplexage OFDM permet de transiter les données sur des porteuses orthogonales les unes par rapport aux autres. La mise en place d'une telle technique permet d'accroître l'efficacité spectrale sur les lignes de transmission. Les liaisons optiques du type IM/DD sont les liaisons les plus en vue de nos jours car ce sont elles qui sont implémentées dans les réseaux optiques en expansion à savoir les réseaux MAN (Metropolitan Area Networks), LAN (Local Area Networks) et PAN (Personal Area Networks) (BARROS, 2011). Les liaisons optiques du type IM/DD nécessitent à la sortie de l'émetteur un signal réel et positif car ce signal est destiné à une modulation d'intensité. Donc un certain nombre de transformations doivent être effectuées sur le signal OFDM classique afin d'obtenir ces différentes caractéristiques. A cet effet, plusieurs techniques ont été développées. Nous pouvons citer parmi elles la DCO-OFDM (Direct Current-biased Optical OFDM) et l'ACO-OFDM (Asymmetrically Clipped Optical OFDM) (Nirmal et al., 2011). Chacune de ces techniques peuvent se baser sur la Transformée Discrète de Fourier pour tout type de symbole à transmettre mais aussi sur la Transformée Discrète de Hartley à condition que les symboles à transmettre soient d'une constellation réelle. L'objectif de ce document est dans un premier temps d'effectuer une étude comparative entre l'ACO-OFDM et la DCO-OFDM et ensuite de confronter les deux techniques de génération de sous-porteuses. Pour effectuer la comparaison entre l'ACO-OFDM et la DCO-OFDM, nous nous sommes basés sur la Transformée Discrète de Fourier et avons exploité la technique de codage QAM.

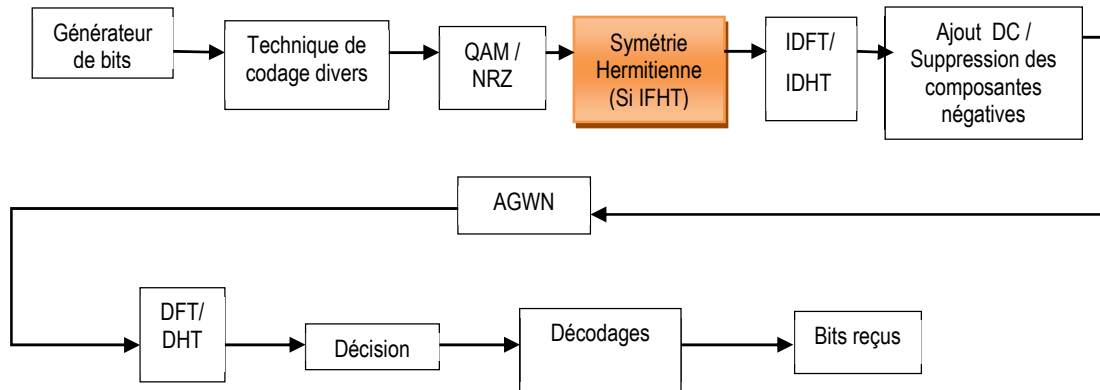
Pour la confrontation des deux techniques de génération de sous-porteuses, nous nous sommes basés sur la technique de codage NRZ garantissant ainsi des symboles réels à l'issue de la modulation OFDM.

MATERIEL ET METHODES

Cadre théorique et conceptuel

Pour la confrontation de ces différentes techniques, nous avons dû mettre en place des émetteurs OFDM. Les éléments binaires en entrée de l'émetteur OFDM sont convertis en symboles et envoyés en parallèle sur les entrées IDFT après une opération de symétrie hermitienne lorsqu'il s'agit de la DFT-OFDM. Pour la DHT-OFDM, les symboles sont envoyés également en parallèle sur les entrées de l'IDHT sans opération de symétrie hermitienne préalable. Les symboles dans ce cas sont issus d'une constellation réelle. Le signal obtenu à l'issue de ces opérations demeure réel dans les deux cas. Pour moduler directement un laser, le signal doit être positif en plus d'être réel. Pour ce faire, deux possibilités sont envisagées pour injecter directement le signal OFDM sur le laser. Le signal OFDM, étant réel et bipolaire, soit il lui est ajouté une composante continue suffisante DC permettant de le rendre positif (DCO-OFDM), soit il est procédé à l'écrêtage de toute la partie négative (ACO-OFDM) du signal bipolaire en ne transmettant les différents symboles OFDM que sur les sous-porteuses d'ordre impair. Dans le second cas, à la réception, les symboles démodulés à considérer sont ceux des sous-porteuses d'ordre impair. A la réception, le signal sera démodulé et reconverti en éléments binaires. Pour la modélisation effectuée, tout le domaine optique a été assimilé à un canal affecté d'un bruit.

Etude et simulation des techniques de multiplexage OFDM pour une liaison optique du type IM/DD.



Les équations qui caractérisent les différentes transformations (IDFT, DFT, IDHT, DHT) sont les suivantes.

$$IDFT(X(k)) = x(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{jk\left(\frac{2\pi n}{N}\right)} \quad (1)$$

$$DFT(x(n)) = X(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-jn\left(\frac{2\pi k}{N}\right)} \quad (2)$$

$$IDHT(X(k)) = x(n) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{k=0}^{M-1} X(k) \left(\cos\left(2\pi \frac{kn}{M}\right) + \sin\left(2\pi \frac{kn}{M}\right) \right) \quad (3)$$

$$DHT(x(n)) = X(k) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{n=0}^{M-1} x(n) \left(\cos\left(2\pi \frac{kn}{M}\right) + \sin\left(2\pi \frac{kn}{M}\right) \right) \quad (4)$$

$X(k)$ étant l'ensemble des symboles issus du codage (QAM ou NRZ selon le cas) et $x(n)$ l'ensemble des symboles issus de la modulation OFDM.

Outil de simulation

L'outil de simulation utilisé est Matlab 7.10. Les différents blocs des chaînes de transmission ont été modélisés et simulés à l'aide de cet outil.

apprécié le Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal à Bruit (RSB) pour plusieurs niveaux de codage QAM et pour plusieurs tailles de symbole OFDM.

PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats à présenter sont regroupés en deux volets.

Le premier volet concerne la confrontation des techniques ACO-OFDM et la DCO-OFDM. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur la Transformée de Fourier Discrète Inverse pour la génération des sous porteuses. La technique de codage utilisée est le QAM. Nous avons donc

Le second volet est relatif à la comparaison des techniques de génération de sous porteuses. Du fait que la DHT-OFDM ne supporte que des symboles issus d'une constellation réelle, la technique de codage exploitée pour les deux est le NRZ. Nous avons donc apprécié le Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal à Bruit (RSB) pour l'ACO-OFDM et la DCO-OFDM pour chacune de génération de sous porteuses.

✓ **TEB en fonction du RSB pour plusieurs niveaux QAM**

Nous présentons ici le Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal à Bruit (RSB) pour plusieurs niveaux de codage

QAM. La DFT est exploitée pour la génération des sous porteuses. Les simulations ont été faites respectivement pour la DCO-OFDM et l'ACO-OFDM.

(a)

(b)

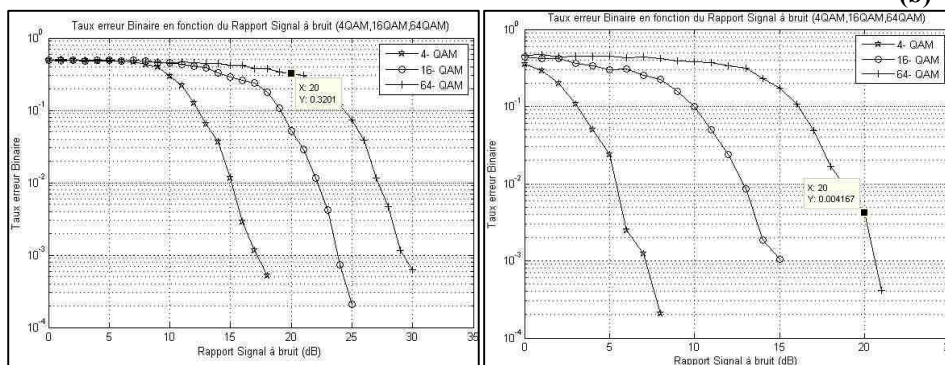


Figure 2 : Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal à bruit pour la DCO-OFDM (a) et pour l'ACO-OFDM (b)

✓ **TEB en fonction du RSB pour des tailles de symboles OFDM différentes**

Nous présentons ici le Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal à Bruit (RSB) pour différentes tailles de symboles

OFDM. La DFT est exploitée pour la génération des sous porteuses. Les simulations ont été faites respectivement pour la DCO-OFDM et l'ACO-OFDM.

(a)

(b)

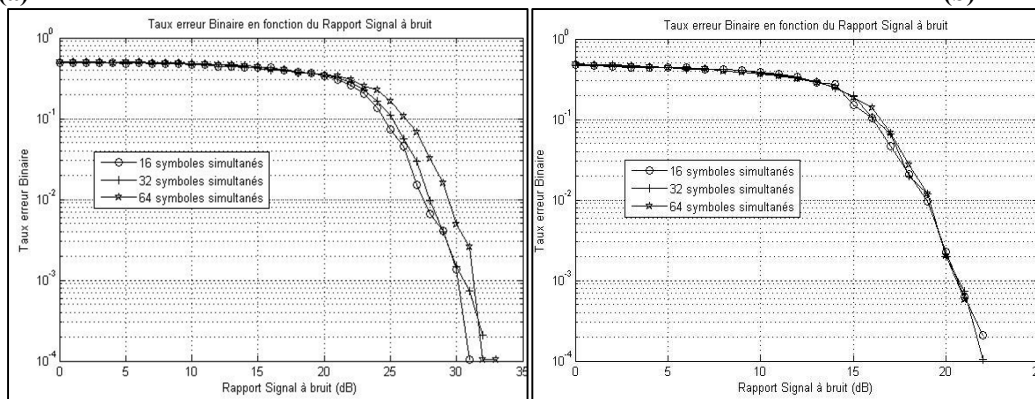


Figure 3 : Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal à bruit pour la DCO-OFDM (a) et pour l'ACO-OFDM (b)

Etude et simulation des techniques de multiplexage OFDM pour une liaison optique du type IM/DD.

✓ **TEB en fonction du RSB pour l'ACO-OFDM**

Nous présentons ici le Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal à Bruit

(RSB) pour l'ACO-OFDM en nous basant respectivement sur la DFT et sur la DHT pour la génération des sous-porteuses.

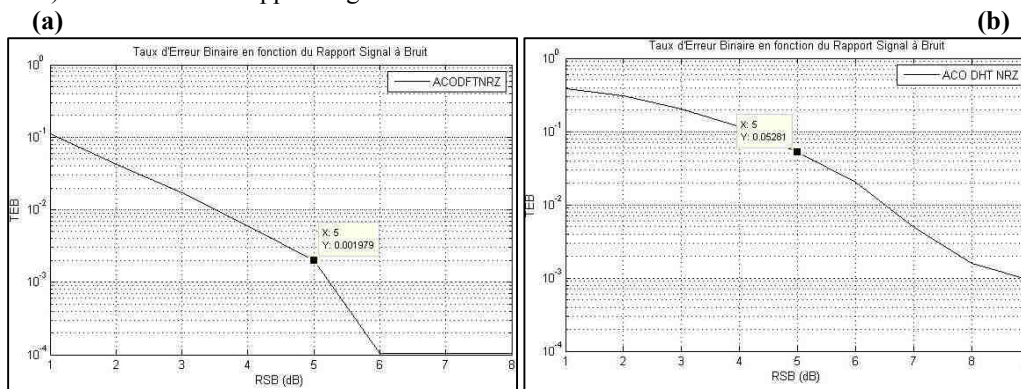


Figure 4 : Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal à bruit pour l'ACO-OFDM basées sur la DFT et la DHT

✓ **TEB en fonction du RSB pour la DCO-OFDM**

Nous présentons ici le Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction du Rapport Signal à Bruit

(RSB) pour la DCO-OFDM en nous basant respectivement sur la DFT et sur la DHT pour la génération des sous-porteuses.

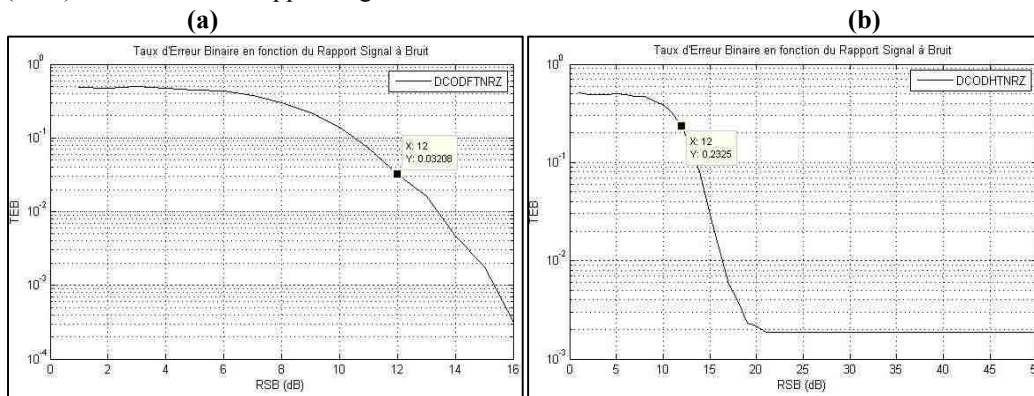


Figure 5 : Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal à bruit pour la DCO-OFDM basées sur la DFT et la DHT

DISCUSSION

Le premier volet de notre analyse est relatif à la comparaison de l'ACO-OFDM et de la DCO-OFDM. Les résultats obtenus (Figure 2) nous ont permis de constater que la technique ACO-OFDM est moins sensible au bruit que la technique DCO-OFDM. En effet, pour un RSB

de 20 dB, l'ACO-OFDM-64QAM présente un Taux d'Erreur Binaire (TEB) de 0.004167 contre 0.3201 pour la DCO-OFDM-64QAM. Cette remarque est la même pour tous les niveaux de codage QAM présentés à la figure 2. Cette analyse rejoint celle effectuée dans (SANYA et al., 2014).

Aussi, avons-nous été plus loin en augmentant la taille du symbole OFDM, pour un même niveau de codage QAM (16-QAM). Nous avons remarqué que aussi bien pour l'ACO-OFDM que pour la DCO-OFDM, plus la taille du symbole OFDM croît (16 symboles simultanés à 64 symboles simultanés), plus le TEB est grand à RSB constant. On en déduit que les performances des liaisons chutent avec l'augmentation de la taille du symbole OFDM. Ce phénomène est beaucoup plus prononcé au niveau de la DCO-OFDM par rapport à l'ACO-OFDM (Figure 3). Cette augmentation de la taille du symbole OFDM s'interprète physiquement par une augmentation du nombre de sous-porteuses et un rapprochement des différentes sous-porteuses en matière de spectre. Il s'en suit qu'on est en droit de s'attendre à une dégradation de la transmission lorsque l'on augmente le nombre de symboles OFDM. Le fait que ce phénomène soit moins prononcé au niveau de l'ACO-OFDM dénote des bonnes performances de cette technique.

En dépit des performances assez intéressantes de l'ACO-OFDM ; cette technique a une complexité d'implémentation de l'ordre du double de celle de la DCO-OFDM. Aussi, le débit utile de l'ACO-OFDM est de moitié celui atteint par la technique DCO-OFDM. Ces mêmes constats ont été effectués dans (SANYA et al., 2014).

Le second volet de l'analyse est relatif à la confrontation des deux techniques de génération de sous-porteuses. La technique de génération de sous-porteuses orthogonales basée sur la DFT présente de meilleures performances que celle basée sur la DHT. En effet, lorsque nous prenons l'ACO-OFDM (Figure 4) ; pour un RSB de 5 dB, la DHT présente un TEB de 0.05281 pendant que la DFT a un TEB de 0.001979. De même, lorsque nous prenons la DCO-OFDM (Figure 5), pour un RSB de 12 dB, la DFT présente un TEB de 0.03208 pendant que la DHT a un TEB de 0.2325. Dans (FERRARO, 2010), l'auteur est parvenu à la même conclusion.

Un autre critère de comparaison des deux techniques de génération de sous-porteuses est

le débit utile véhiculé par chacune d'elles. En effet, pour la DFT, la symétrie hermitienne est indispensable pour l'obtention de symboles réels à la sortie du multiplexeur OFDM (IDFT). Cette opération double le nombre de symboles à faire passer sur le réseau. Pour la DHT, cette opération n'est pas réalisée. En effet, l'IDHT est une transformée réelle. Donc, si les symboles issus de la modulation sont réels, à l'issue du multiplexage OFDM (IDHT), les symboles le seront toujours. De tout ce qui précède, on conclut donc qu'en matière de débit utile, la DFT a un débit utile de l'ordre du double de celui de la DHT.

Pour finir, une comparaison peut être faite pour la complexité d'implémentation de ces deux techniques. En effet, cette complexité pourra être estimée grâce au nombre de multiplications et additions réelles nécessaires pour réaliser les fonctions IDFT et IDHT correspondant respectivement au multiplexeur OFDM basé sur la DFT et la DHT. Cette analyse nous permet de confirmer qu'un émetteur OFDM basé sur le DHT a une complexité d'implémentation plus réduite qu'un émetteur OFDM basé sur la DFT. Dans (FERRARO, 2010), l'auteur est parvenu aux mêmes conclusions.

CONCLUSION

Tout au long de ce travail, il a été question d'apprécier les techniques de multiplexage ACO-OFDM et DCO-OFDM et de comparer les techniques de génération de sous-porteuses orthogonales basées sur la DFT et la DHT. Il en ressort que l'ACO-OFDM présente de meilleures performances en comparaison avec la DCO-OFDM. De même, cette étude nous a révélé que la technique de génération de sous-porteuses basées sur la DFT présente de meilleures performances que celle basée sur la DHT. Cependant, en matière de débit utile et de complexité d'implémentation, l'ACO-OFDM et la technique de génération de sous-porteuses basée sur la DFT sont pénalisés par rapport respectivement à la DCO-OFDM et à la technique de génération de sous-porteuses basée sur la DHT.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ARMSTRONG J., 2009. OFDM for optical communications. *Journal of lightwave technology*, 27(3), 189-204.
2. ARMSTRONG J., SCHMIDT B., KALRA D., SURAWEERA H. A., LOWERY A. J., 2006. Performance of Asymmetrically Clipped Optical OFDM in AWGN for an Intensity Modulated Direct Detection System. *Global Telecommunications Conference, GLOBECOM '06. IEEE*, DOI:10.1109/GLOCOM.2006.571, 1-5.
3. ARMSTRONG J., LOWERY A. J., 2006. Power efficient optical OFDM. *Electronics letters*, 42(6), 370-372.
4. BARROS D., 2011. Orthogonal frequency-division multiplexing for optical communications. *Thèse de doctorat, Département d'ingénierie Electrique, Université de Stanford*, 160p.
5. DIMITROV S., HAAS H., 2010. On the Clipping Noise in an ACO-OFDM Optical Wireless Communication System. In *Proc. of IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM)*. IEEE, 6-10.
6. FERRARO F., 2010. Study and analysis of an optical OFDM based on the discrete hartley transform for IM/DD systems. *Ecole Technique Supérieur d'Ingénieur en Télécommunication de Barcelone ; Université Polytechnique de Catalonia*, 80p.
7. FERNANDO N., YI H., VITERBO E., 2012. Flip-OFDM for Unipolar Communication Systems. *Communications, IEEE Transactions on*, 60(12), 3726-3733.
8. SANYA M., AUPETIT-BERTHELEMOT C., DJOGBE L., VIANOU A., 2014. D-C ACO-OFDM and DCO-OFDM for passive optical network: Performance comparison in IM/DD fiber link. *Wireless and Optical Communication Conference (WOCC), 2014 23rd*, 9-10.