Le bilan d'une liaison infrarouge dans un environnement domestique

Mamdouh El Tabach, Patrick Tortelier, Olivier Bouchet, Ramesh Pyndiah, Pascal Besnard

▶ **To cite this version:**

Mamdouh El Tabach, Patrick Tortelier, Olivier Bouchet, Ramesh Pyndiah, Pascal Besnard. Le bilan d'une liaison infrarouge dans un environnement domestique. 27è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2008), Oct 2008, Lannion, France. pp.278-280. hal-01389212

HAL Id: hal-01389212
https://hal.science/hal-01389212

Submitted on 8 Nov 2016

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.

LE BILAN D'UNE LIAISON INFRAROUGE DANS UN ENVIRONNEMENT DOMESTIQUE

Mamdouh El Tabach, Patrick Tortelier, Olivier Bouchet[1], Ramesh Pyndiah[2], Pascal Besnard[3]

[1] *France Télécom, Orange Labs, 4 rue du Clos Courtel, 35512 Cesson-Sévigné*
[2] *IT-TELECOM Bretagne, Dépt. SC, Technopôle Brest-Iroise, CS 83818, 29238 Brest*
[3]*Laboratoire Foton, CNRS UMR 6082, Enssat, 6 rue de Kerampont, BP 80518, 22305 Lannion*

Mamdouh.Eltabach@orange-ftgroup.com

Projet collaborative Techim@ges – Région Bretagne - France

RESUME

L'objectif de notre article est de présenter un bilan d'un système optique sans fil, transmettant de l'infrarouge, dans un environnement domestique. Après une description des principes de base, une étude comparative entre des schémas de modulation d'intensité et de détection directe (IM/DD) est énoncée. Elle permet d'expliciter les performances globales de la liaison en fonction de la puissance de la lumière ambiante. Nous montrons qu'un simple égaliseur associé à la modulation tout ou rien OOK (On Off Keying) aurait, dans certaines circonstances et pour un même débit binaire, des meilleurs résultats que l'OFDM ou encore que l'OFDM/OQAM modifié.

MOTS-CLEFS : *Optique sans fil ; Infrarouge ; IM/DD ; OOK ; OFDM ; OQAM ; RLD*

1. INTRODUCTION

Les communications optiques sans fil se réfèrent à l'utilisation de la propagation de la lumière, majoritairement dans le domaine de l'infrarouge, avec l'espace libre comme milieu de transmission. A l'intérieur des maisons, cette technologie offre de nombreux avantages significatifs, tel que le spectre gratuit et non réglementé, l'absence des interférences avec les systèmes radio existants, le confinement du signal permettant de sécuriser facilement toutes transmissions, ainsi que le potentiel d'atteindre le haut débit, besoin incontournable pour les futurs services et les Réseaux Locaux Domestiques (RLD).

Selon la configuration entre l'émetteur et le récepteur, il existe trois grandes typologies de propagation pour les liaisons optiques sans fil [1]-[2]. La propagation en vue directe ou LOS (Line Of Sight) est caractérisée par l'établissement d'une liaison très directive, dégagée des obstacles, avec des angles de demi-puissance *HP* (Half Power) et de réception *FOV* (Field Of View) très réduits. La propagation en vue directe étendue ou WLOS (Wide Line Of Sight) offre des angles plus larges et une meilleure couverture. Dans une typologie diffuse DIF, indépendamment des obstacles, le lien est toujours maintenu, par les rebonds sur les différentes surfaces telles que les plafonds, les murs et le mobilier. Cette typologie est la plus conviviale pour le client, mais elle exige une forte puissance et des traitements numériques supplémentaires. Plusieurs papiers proposent des solutions capables de gérer les interférences entre symboles dans un cas DIF, tels que les égaliseurs [3], les schémas de l'OFDM et de l'OFDM/OQAM adaptés aux contraintes IM/DD [4]-[5]-[6]. En effet, l'intensité optique transmise doit être réelle et positive. Dans cet article, et en se basant sur des mesures expérimentales, nous montrons, qu'en raison de cette forte contrainte de positivité, un simple égaliseur peut aboutir à des meilleures performances qu'un schéma beaucoup plus avancé au niveau théorique. Pour une même puissance optique reçue, et pour une qualité de service donnée, cela se traduit par une plus forte résistance face aux perturbateurs ambiants.

2. PRINCIPES DE BASE

Une analyse détaillée du bilan de liaison est une étape importante pour n'importe quel système optique sans fil. Ainsi, l'ingénieur examine la puissance transmise, limitée par les contraintes de la

sécurité oculaire, puis détermine toutes les pertes potentielles, et les bruits, de l'émetteur au récepteur. Un tel dispositif a typiquement une sensibilité minimale et spécifique à un débit donné. La puissance optique moyenne reçue s'exprime par :

$$P_r = H(0)P_t, \quad (1)$$

Où P_t représente la puissance optique moyenne transmise, et *H(0)* représente son affaiblissement en espace libre, englobant les effets de tous les rebonds optiques éventuels. Cependant, et comme le diamètre du récepteur optique est nettement supérieur à la longueur d'onde utilisée, le canal ne subit pratiquement pas d'évanouissements. En effet, le photo-courant généré à la surface du détecteur intègre les fluctuations spatiales à l'échelle de la longueur d'onde.

En complément de la dégradation du signal, les perturbateurs, de natures optiques ou électriques, peuvent provoquer une baisse de qualité de service, voire d'interruption, s'ils ne sont pas correctement pris en considération. Donc une bonne connaissance de ces sources perturbatrices est nécessaire pour pouvoir développer des méthodes efficaces de limitation ou d'élimination des perturbateurs. Dans les systèmes optiques sans fil domestiques, le bruit prépondérant reste d'origine optique. Il provient de sources lumineuses ambiantes telles que : le soleil, les lampes fluorescentes, les lampes incandescentes, les télécommandes, et les diodes blanches… Etant donné que la majorité de ces perturbateurs ont une composante principalement continue, l'intégration d'un offset dynamique dans le dispositif de réception offre une première solution simple et avantageuse. En revanche, malgré le filtrage approprié, la lumière ambiante est à l'origine du bruit aléatoire de grenaille de densité spectrale de puissance :

$$N_0 = 2q\left(I_{incid} + I_{obs}\right) = 2q\left(I_{util} + I_{amb} + I_{obs}\right) \cong 2qI_{amb} \cong 2qRP_{amb}, \quad (2)$$

Où q est la charge de l'électron, I_{incid} est le photo-courant correspondant au faisceau incident éclairant le récepteur ; I_{util} correspond à sa composante proportionnelle à la puissance reçue utile ; I_{obs} est le courant d'obscurité ; I_{amb} représente le photo-courant dû à la lumière ambiante de puissance optique P_{amb} ; R est la sensibilité spectrale du détecteur en A/W. L'approximation dans (2) est liée au fait que la puissance reçue utile est largement inférieure à la celle de la lumière ambiante. Le bruit total peut être assimilé à un bruit blanc additif gaussien, indépendant du signal et ayant comme variance :

$$\sigma^2 = N_0 \, B, \quad (3)$$

B est la bande passante équivalente du récepteur. Dans [7], les auteurs décrivent l'enveloppe spectrale de la puissance P_{amb} pour la plupart des perturbateurs optiques. Par la suite, nous étudions la marge d'une puissance P_{amb} allant de -10 dBm à -35 dBm, pour la bande de 1550 nm.

3. MESURES ET SCHEMAS

Afin de tester différentes techniques de modulation dans un environnement domestique réel, nous avons choisi de mesurer la réponse impulsionnelle du canal, à l'aide de la méthode spectrale, dans une typologie DIF. Nous avons utilisé un analyseur de réseaux, un laser transmettant en continue à 1550 nm, un diffuseur optique avec un angle *HP* de 60°, et un récepteur optique ayant un angle *FOV* de 40°. Les mesures ont été effectuées sur une maquette vide de dimensions 50cm x 50cm x 30cm, et couverte de papiers blancs A4. La distance entre l'émetteur et le récepteur est de 30cm. Empiriquement, pour une pièce réelle de 5m x 5m x 3m, des facteurs correctifs, temporel de 10, et d'amplitude de $(1/\sqrt{10})$ peuvent être adoptés. La figure 1 illustre l'allure d'une réponse impulsionnelle normalisée. De telles configurations sont caractérisées par des forts affaiblissements *H(0),* de l'ordre de 10^{-6} par exemple. Le retard maximal significatif est de l'ordre de 70 ns. Sur ce type de canaux, et sous les contraintes IM/DD, nous comparons trois schémas capables de lutter contre les interférences entre symboles : l'OFDM, l'OFDM/OQAM modifié, et l'OOK associé à une égalisation ZF (Zero forcing) inversant les effets du canal. Une description théorique des deux premiers schémas peut être trouvée dans [5]. Dans la simulation qui suit, l'allure du canal est inspirée de l'expérimentation ci-dessous, la puissance P_t est fixée à 10 mW, *H(0)* est égal à $3\text{x}10^{-6}$, R vaut 0,6 A/W, et le débit binaire est de 150 Mb/s. Pour le schéma de l'OFDM, une modulation

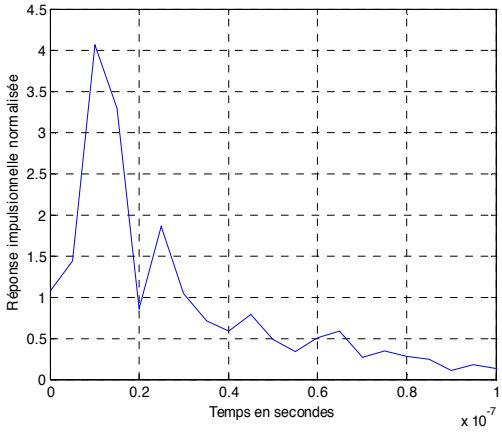

FIG. 1 : Allure d'une réponse impulsionnelle DIF.

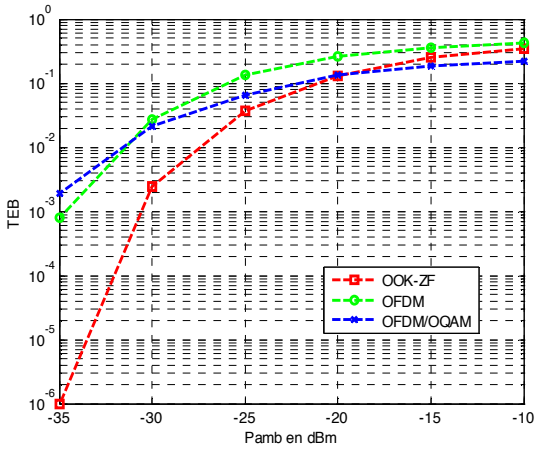

FIG. 2 : Comparatif des schémas proposés.

MAQ-4 est testée avec une FFT de taille 256, une symétrie Hermitienne et un intervalle de garde réduit à 16. Pour le schéma de l'OFDM/OQAM modifié, l'intervalle de garde est omis et la forme d'onde IOTA est appliquée. Dans les trois cas, P_r est égale à $3x10^{-5}$ mW. Nous avons montré dans [5] que le choix entre l'OFDM et l'OFDM/OQAM modifié dépend fortement de la configuration du canal, de la durée de l'intervalle de garde et la perte induite en puissance utile. La figure 2 trace le taux d'erreur binaire TEB des trois schémas, en fonction de la puissance optique de la lumière ambiante, en dBm P_{amb}. Dans cette application, pour les fortes valeurs du bruit, l'OFDM/OQAM modifié apporte un certain gain. Cependant, pour un TEB d'intérêt, et dès que P_{amb} descend en dessous de -20 dBm, une modulation OOK associé à l'égaliseur ZF offre la solution la plus avantageuse. C'est le cas d'un système DIF sans codage de canal, perturbé directement par des sources optiques artificielles et indirectement par le soleil.

CONCLUSION

Dans le contexte des réseaux RLD, nous avons établi le bilan d'une liaison infrarouge sans fil IM/DD, en simulant le taux d'erreur binaire en fonction de la puissance optique de la lumière ambiante dans un environnement DIF. Cette démarche permet de lever l'ambigüité des diverses définitions du rapport *SNR* (Signal to Noise to Ratio) qu'on trouve dans la littérature. Sur un canal issu des expérimentations, nous avons montré qu'un simple égaliseur associé à la modulation OOK, à débit équivalent, nous éviterait le recours aux schémas plus avancés, comme l'OFDM, mais aussi plus compliqués. Enfin, des modulations MAQ d'ordre plus élevé, augmentant ainsi le débit, et des techniques de réduction de puissance, appliquées à l'OFDM pourraient être éventuellement intéressantes ; mais actuellement, le compromis reste en faveur de la simplicité.

REFERENCES

[1] J.M. Kahn, J.R. Barry, "Wireless Infrared Communications", IEEE Proceedings, 1997, pp. 265-298.
[2] O. Bouchet, M. El Tabach, D. Leroux, P. Besnard, M. Bertrand, "Personal Optical Wireless Communications: A generic LOS/WLOS propagation model", WWRF 19, Chennai, Inde, 2007.
[3] T. Komine, J. Hwan Lee, S. Haruyama, M. Nakagawa, "Adaptive Equalization for Indoor Visible-Light Wireless Communication Systems", IEEE, APCC, 2005.
[4] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, M. Nakagawa, "A Basic study of optical OFDM system for Indoor Visible Communication utilizing Plural White LEDs as Lightening", IEEE, PIMRC, 2001.
[5] M. El Tabach, P. Tortelier, R. Pyndiah, O. Bouchet, "Modified OFDM/OQAM for Personal Optical Wireless with Direct Detection", IEEE, ICTTA, Damas, Syrie, 2008.
[6] H. Lin, P. Siohan, "OFDM/OQAM with Hermitian Symmetry: Design and performance for baseband communication", à paraître, IEEE, ICC, Beijing, Chine, May 2008.
[7] O. Bouchet, C. Rouet, "Indoor optical wireless communication: Interference experimentation and evaluation", SPIE, Optics & Photonics, San Diego, 2007.