HAL
open science

Casque audio connecté par optique sans fil dans le poste de pilotage d'un avion de ligne

Steve Joumessi Demeffo, Stephanie Sahuguede, Damien Sauveron, Anne Julien-Vergonjanne, Pierre Combeau, Bruno Mercier, Lilian Aveneau, Hervé Boeglen

To cite this version:

Steve Joumessi Demeffo, Stephanie Sahuguede, Damien Sauveron, Anne Julien-Vergonjanne, Pierre Combeau, et al.. Casque audio connecté par optique sans fil dans le poste de pilotage d'un avion de ligne. PLUMEE 2019, Apr 2019, Limoges, France. hal-02152397

HAL Id: hal-02152397

https://hal.science/hal-02152397v1

Submitted on 11 Jun 2019

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.

PLUMEE 2019
Casque audio connecté par optique sans fil dans le poste de pilotage d'un avion de ligne

S. Joumessi-Demeffo[1*], S. Sahuguede[1], D. Sauveron[1], A. Julien-Vergonjanne[1]
P. Combeau[2], B. Mercier[2], L. Aveneau[2], H. Boeglen[2]

[1] *University of Limoges, CNRS, XLIM UMR 7252, F-87000 Limoges, France*

[2] *University of Poitiers, CNRS, XLIM UMR 7252, F-86000 Poitiers, France*

Résumé: Actuellement, les casques audio des pilotes à l'intérieur d'un cockpit d'avion sont connectés de manière filaire. Pourtant, une connectivité sans fil pour le casque constituerait un avantage en termes de confort et de flexibilité pour les pilotes. La technologie sans fil dominante basée sur le spectre radiofréquence présente cependant des inconvénients dans le contexte aéronautique, liés à la sécurité et à la fiabilité (interférences). Nous étudions dans cette article une technologie alternative, l'optique sans fil, pour la connectivité des casques des pilotes. Les rayons optiques ont l'avantage d'être confinés dans le cockpit et de ne pas produire d'interférences radiofréquences. A partir de la modélisation du canal de transmission optique sans fil dans le contexte du cockpit, les potentialités de la technologie sont établies en termes de fiabilité de communication .

Mots-clés: Optique sans fil; Transmissions infrarouges; Modélisation des canaux.

1. INTRODUCTION

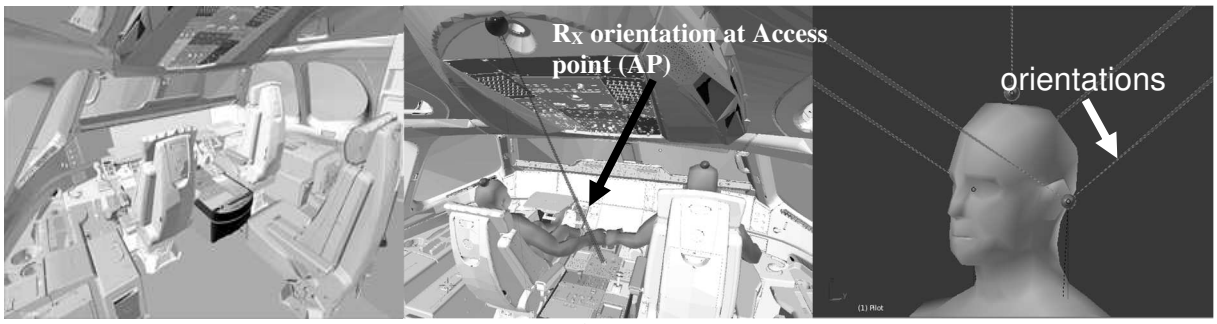
Il est aujourd'hui admis que la croissance exponentielle des communications sans fil présente à terme un risque de saturation du spectre radiofréquence disponible [1]. Différentes solutions sont à l'étude pour les futurs réseaux sans fil et une des options consiste à monter en fréquence. Dans ce contexte, l'utilisation du spectre optique notamment infrarouge (IR) et visible presente des potentialités pour un large éventail d'applications, en particulier dans les environnements intérieurs [2-6]. En effet, l'optique offre de nombreux avantages, notamment l'absence de licence, une bande passante élevée et aucune interférence électromagnétique ce qui est intéressant dans les scénarios hospitaliers, industriels ou aéronautiques. De plus, les rayons optiques étant confinés, cette technologie est robuste par rapport au piratage des communications. Nous présentons dans cet article l'étude des performances de liaisons par optique sans fils entre le casque des pilotes et un point d'accès dans le cockpit de l'avion. Étant donné que la luminosité à l'intérieur du poste de pilotage doit être fortement réduite pendant les phases critiques du vol, la bande visible n'est pas appropriée et on utilise le domaine proche IR (800-950nm). L'article est organisé de la manière suivante. La section 2 porte sur la description du système. L'analyse du canal de transmission est présentée à la section 3, les performances associées à la section 4 et la conclusion à la section 5.

2. DESCRIPTION DU SYSTEME

L'environnement est un cockpit d'Airbus A350, comme illustré à la Fig. 1(a). Nous étudions la liaison optique sans fil en voix montante et descendante entre un casque audio porté par le pilote ou le co-pilote et un point d'accès au plafond du cockpit (Fig. 1(b)). Afin d'assurer la couverture par rapport aux mouvements de la tête, plusieurs émetteurs/récepteurs (Tx/Rx) sont disposés sur le casque : un sur le dessus du casque et deux sur chaque oreille orientés chacun à 60° vers l'avant et l'arrière (voir Fig.1 (c)). Concernant le point d'accès au plafond, un seul émetteur/récepteur est utilisé et orienté entre le pilote et le copilote (voir Fig.1 (b)). La liaison montante bénéficie de 5 sources sur le casque et d'un récepteur au point d'accès. Pour la liaison descendante la diversité spatiale fournie par 5 récepteurs sur le casque consiste à combiner les informations en sélectionnant le récepteur ayant la puissance reçue maximale [7]. La transmission optique peut s'effectuer soit en ligne directe entre émetteur et récepteur, soit après réflexion et atténuation sur les surfaces et éléments en particulier les corps des pilotes. De plus, les mouvements d'une partie du corps peuvent également avoir un impact sur la transmission en modifiant les orientations et alignements des émetteurs/récepteurs. Dans cette étude, nous tenons compte de tous les trajets directs et réfléchis, des caractéristiques et orientations respectives des émetteurs-récepteurs, et de la présence et des mouvements aléatoires de l'équipage. Nous pouvons remarquer sur la Fig. 1(b) que l'assise du pilote et du co-

[*] steve.joumessi-demeffo@unilim.fr

pilote sont différentes, représentant les deux configurations extrêmes des sièges. Le pilote est le plus éloigné du tableau de bord (le visage est à environ 60 cm) et à la hauteur la plus basse (le sommet de la tête est à 40 cm sous le plafond et à 1,17 m du sol). Le co-pilote est le plus proche du tableau de bord (le visage est à environ 45 cm), à la hauteur la plus élevée (le sommet de la tête est à 15 cm sous le plafond, à 1,30 m du sol).



(a) (b) (c)

Fig. 1. (a) vue 3D du cockpit Airbus A350 (b) environment du cockpit incluant les corps des pilotes (c)orientations des transmetteurs sur le casque

2. MODELISATION DU CANAL DE TRANSMISSION OPTIQUE SANS FIL

La réponse impulsionnelle des liaisons montantes et descendantes entre un casque et le point d'accès est obtenue par simulation grâce au logiciel RaPSor (Ray Propagation Simulator), développé à XLIM [8,9]. RaPSor est basé sur une technique de lancé de rayons associée à une méthode de résolution de Monte-Carlo. Les entrées nécessaires à la simulation sont: le modèle géométrique du cockpit, les caractéristiques de réflexion des matériaux de l'environnement, y compris les corps du pilote et du co-pilote, et la définition des caractéristiques et emplacements des émetteurs-récepteurs optiques. Le modèle géométrique 3D détaillé du cockpit d'un Airbus A350, composé de 3.3e6 faces, a été importé dans RaPSor. Toutes les surfaces de la scène sont considérées comme parfaitement diffuses [8]. Les coefficients de réflexion sont fixés à une valeur de 0,5, ce qui est une valeur moyenne entre les matériaux absorbants et parfaitement réfléchissants [9]. Le modèle représentant le corps du pilote et du co-pilote est un maillage humain réaliste en 3D d'une hauteur de 1,8 m et composé de 1004 faces avec un coefficient de réflexion pris également à 0,5. Le corps est animé à l'aide du logiciel Blender afin de prendre en compte un scénario de mobilité réaliste. Les caractéristiques optiques des émetteurs-récepteurs sont les suivantes: diagramme de rayonnement de la source optique, angle à mi-puissance de la source $\phi_{1/2}$, surface physique et champ de vision (FOV) du récepteur. Dans l'étude, nous considérons des sources IR lambertiennes avec différents angles à mi-puissance. Le récepteur est une photodiode IR de surface physique 7 mm² et dont le FOV est de 60°. Un objectif est de déterminer l'angle $\phi_{1/2}$ de la source permettant d'obtenir les meilleures performances, considérant les changements d'orientation des émetteurs-récepteurs induits par la mobilité de la tête. Le scénario de mobilité est le suivant: le pilote regarde d'abord en avant, puis tourne la tête vers la gauche, puis l'incline vers l'avant, puis la tourne à droite avant de la ramener à sa position initiale. De plus, pour toutes les simulations, nous considérons un nombre maximum de 3 réflexions successives.

A partir de la réponse impulsionnelle $h(t)$, on détermine le gain H_0 caractérisant les performances du canal optique, et défini comme [10] :

$$H_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)dt \qquad (1)$$

La dispersion temporelle induite par les chemins réfléchis peut être négligée car très faible par rapport au débit nécessaire. Nous nous concentrons donc uniquement sur le gain optique et négligeons les interférences entre symboles. Les mouvements du corps induisant différentes configurations de liaison, on obtient un ensemble de valeurs de gain à partir des réponses impulsionnelles $h(t)$ résultant de la simulation. Le comportement du canal est alors caractérisé par la distribution des probabilités des valeurs de H_0 soit p(H_0). Dans ce travail, nous analysons la fiabilité de la liaison sur la base de la fonction de distribution cumulative CDF (H_0) définie comme suit:

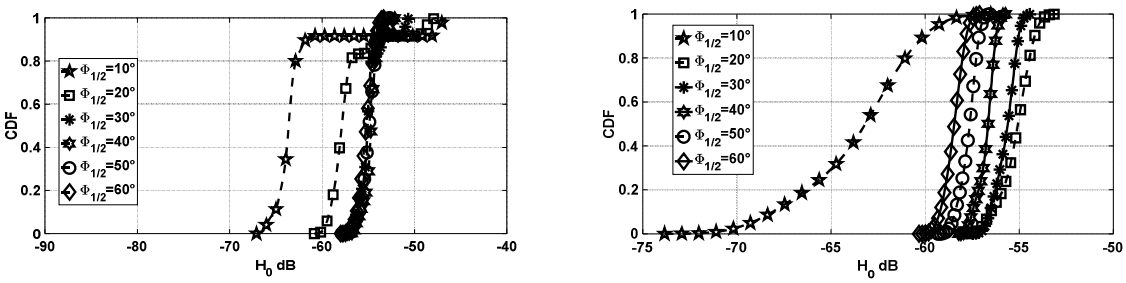
$$CDF(H_0) = \int_{-\infty}^{H_0} p(H_0)dH_0 \qquad (2)$$

Plus la valeur de CDF (H_0) est faible pour une valeur donnée de gain H_0, plus la fiabilité du lien optique est élevée.

3. ANALYSE DU GAIN OPTIQUE DU CANAL

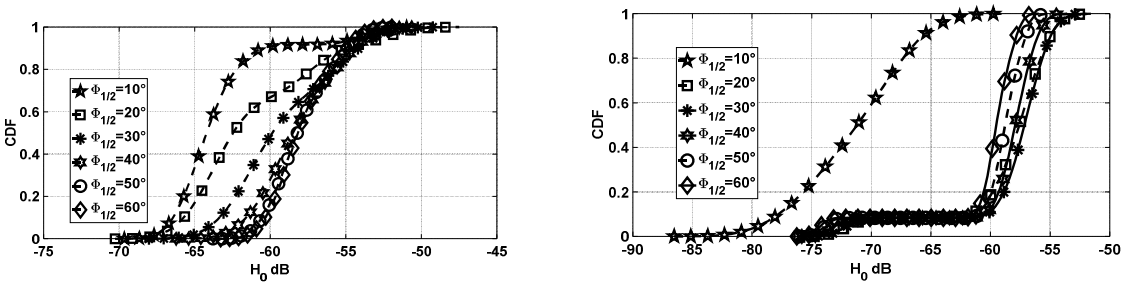
Les CDF des voix montantes pour les positions pilote et co-pilote sont représentées sur les figures 2 (a) et 3 (a) en fonction de différentes valeurs d'angle à mi-puissance $\phi_{1/2}$ des sources. On remarque qu'à partir d'un angle de 20°

les CDF convergent sur la figure 2 (a) pour le pilote. Pour le co-pilote, l'angle optimal est plutôt de 60°. Pour cet angle de 60° on voit qu'une valeur de CDF de 20% est obtenue pour un gain inférieur à -55 dB pour le pilote et à -58 dB pour le copilote.
Les CDF des gains pour la liaison descendante sont représentées sur la figure 2 (b) pour le pilote, et 3 (b) pour le co-pilote. A l'exception de $\phi_{1/2}$ = 10 °, toutes les courbes de CDF sont assez proches, ce qui permet de choisir le même angle de 60 ° que pour la liaison montante.



(a) (b)

Fig. 2 (a) CDF du gain liaison montante- $5T_{Xi}/1R_{X1}$ casque pilote (b) CDF du gain liaison descendante $1T_{X1}$/ 5 R_{Xi} casque pilote



(a) (b)

Fig. 3 (a) CDF du gain liaison montante- $5T_{Xi}/1R_{X1}$ casque co-pilote (b) CDF du gain liaison descendante $1T_{X1}$/ 5 R_{Xi} casque co-pilote

4. PERFORMANCES

Le rapport signal sur bruit (SNR) et le taux d'erreur binaire (TEB) sont des mesures classiques utilisées pour évaluer les performances d'une liaison en tenant compte de la puissance de l'émetteur et de la contribution du bruit. Nous considérons dans cette étude la modulation On-Off Keying (OOK) qui est l'une des modulations les plus classiques pour les systèmes optiques [10]. En supposant une émission équiprobable et un bruit additif gaussien, le TEB est donné par:

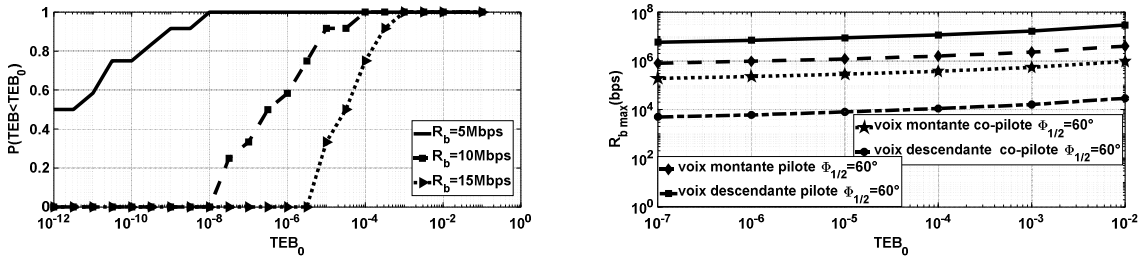
$$TEB = \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{SNR}{2}}\right) \qquad (3)$$

Avec le SNR de la modulation OOK exprimé par [10]:

$$SNR = \frac{P_t^2 {H_0}^2 R^2}{4 N_0 R_b} \qquad (4)$$

R_b est le débit binaire, P_t la puissance optique moyenne émise, N_0 la densité spectrale de puissance du bruit et R la sensibilité de la photodiode égale à 1 dans la suite. Dans cette étude, nous considérons que le bruit ambiant est prépondérant et défini par le photocourant ambiant typique de 200 µA [11].
Comme les valeurs de gain H_0 suivent une distribution statistique, le TEB également. On étudie alors pour un débit et une puissance d'émission, la probabilité d'atteindre une valeur cible de TEB appelée TEB_0 qui représente la fiabilité de la liaison. L'étude est réalisée avec des sources optiques ayant un angle à mi-puissance de 60° en voix montante et descendante. La puissance moyenne émise par la source au point d'accès est de 170 mW et de 170mw/5 soit 34 mW pour les 5 sources sur le casque. Nous pouvons voir un exemple de résultat sur la figure 4(a). Pour un débit de 10 Mbps, en liaison descendante, on remarque que la fiabilité de la liaison est de 100% pour un TEB_0 inférieur à 10^{-4}. Elle est de 60% pour un TEB_0 inférieur à 10^{-6}. L'objectif est d'estimer pour chaque valeur de TEB_0, le débit maximal R_{bmax} requis pour satisfaire une fiabilité de 100%. La Fig. 4(b) montre les valeurs de R_{bmax} pour les voix montante et descendante et pour les deux positions associées au pilote et co-pilote. Nous

remarquons que les valeurs de R_{bmax} sont supérieures à 1Mbps dans le cas du pilote et pour les deux voix, ce qui convient à une application de transmission audio. Par contre, les courbes pour la position du co-pilote montrent que ce débit n'est pas atteint, en particulier pour la liaison descendante. En conséquence, pour développer un casque optique-sans fil dans le cockpit fiable quelle que soit la position de l'équipage, il faudra améliorer les performances du canal. Une solution pourrait être d'ajouter de la diversité spatiale au niveau du point d'accès en plus de la diversité spatiale sur les casques.



(a) (b)

Fig.4. (a) Fiabilité en fonction du débit; cas du pilote en liaison descendante (b) débit maximal pour une fiabilité de100% en liaison montante et descendante pour les positions du pilote et du co-pilote

5. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté l'étude d'une liaison bidirectionnelle par optique sans fil entre un casque porté par les pilotes d'un avion et un point d'accès situé au plafond du cockpit. Nous avons proposé une modélisation du canal optique basée sur l'environnement 3D du cockpit et la prise en compte de la présence des pilotes. L'outil utilisé est un logiciel de lancé de rayons associé à une méthode de Monte-Carlo. De plus, nous avons intégré les mouvements réalistes des têtes de pilotes affectant la propagation des rayons optiques et considéré une diversité spatiale au niveau du casque avec 5 transmetteurs. Le point d'accès ne comporte qu'un seul transmetteur. L'analyse du comportement statistique du canal a été mené pour deux positions d'assise de l'équipage associées au pilote et co-pilote. L'analyse des résultats a permis de déterminer les angles à mi-puissance optimaux des sources sur le casque et au point d'accès. Nous avons ensuite évalué les débits maximaux pour une liaison 100% fiable en considèrant la modulation OOK. Les résultats montrent que la technologie optique est adaptée pour une transmission audio entre un casque porté par le pilote et le cockpit. Cependant, les performances pour le casque porté par le co-pilote doivent être améliorées, par exemple en prenant en compte une diversité spatiale au point d'accès.

Les auteurs souhaitent remercier l'Union européenne et la société AIRBUS pour leur soutien dans le cadre du projet Cleansky2 H2020 baptisé Aircraft Light Communication (ALC).

RÉFÉRENCES

[1] FCC Staff Technical Paper, "Mobile Broadband: The Benefits of Additional Spectrum ," Federal Communications Commission (FCC), Washington, DC, USA, Tech. Rep., October 2010

[2] T. Cogalan and H. Haas, "Why would 5G need optical wireless communications?," *2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Montreal, QC, 2017, pp. 1-6.

[3] S. Arnon, J. Barry, G. Karagiannidis, R. Schober, and M. Uysal, *Advanced Optical Wireless Communication Systems*, 1st ed., NY, USA, Cambridge University Press New York, 2012.

[4] S. Arnon, *Visible Light Communication*, 1st Ed., NY, USA, Cambridge University Press New York, 2015.

[5] S. Dimitrov and H.Haas, *Principles of LED Light Communications Towards Networked Li-Fi*., 1st Ed., UK, Cambridge University Press, 2015.

[6] Z. Ghassemlooy, L.N. Alves, S. Zvanovec and M-A Khalighi, *Visible Light Communications: Theory and Applications,* 1st Ed., FL, USA, CRC Press, Inc. Boca Raton, 2017.

[7] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

[8] A. Behlouli, P. Combeau and L. Aveneau, *MCMC Methods for Realistic Indoor Wireless Optical Channels Simulation*, Journal of Lightwave Technology, vol. 35, no. 9, pp. 1575-1587, May 2017, 10.1109/JLT.2017.2662939

[9] A. Behlouli, P. Combeau, S. Sahuguède, A. Julien-Vergonjanne, C. Le Bas and L; Aveneau, *Impact of Physical and Geometrical Parameters on Visible Light Communication Links*, in proc IEEE RTUWO, Riga, Latvia, 2017, pp 73-79.

[10] Z. Ghassemloy, W. Popoola, S. Rajbhandari, *Optical wireless communications, system and channel modeling with MATLAB®,*1st Ed., FL, USA, CRC Press, Inc. Boca Raton, 2012.

[11] A. J. C. Moreira, R. T. Valadas and A. M. de Oliveira Duarte, *Characterization and modelling of artificial light interference in optical wireless communication systems*, in proc. of PIMRC, Toronto, Ont., 1995, pp. 326-331.