



Analyse du système linéaire optimal pour les communications multiporteuses au-delà de la cadence de Nyquist.

Alexandre Marquet^{*†}, Cyrille Siclet^{*}, Damien Roque[†]

^{*} Univ. Grenoble Alpes, CNRS, GIPSA-Lab, F-38000 Grenoble, France, {prénom.nom}@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

[†] Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE-SUPAERO), Université de Toulouse, 31055 Toulouse, France, damien.roque@isae-supaero.fr

Mots clés : Modulations multiporteuses, transmission au-delà de la cadence de Nyquist, analyse de l'interférence, analyse des performances.

Keywords : Multicarrier modulations, faster-than-nyquist signaling, interference analysis, performance analysis.

Proposition de communication

La plupart des systèmes de communication actuels permettent la reconstruction parfaite des symboles émis : les familles de synthèse et d'analyse utilisées en émission et en réception constituent des familles biorthogonales (ou bases de Riesz). Dans le cadre d'une transmission à bande limitée, cela nécessite le respect du critère de Nyquist qui impose un débit symbole R inférieur à la bande bilatérale B du signal ($R \leq B$) [1]. À l'inverse, en outrepassant ce critère, il devient possible de transmettre à un débit symbole R' supérieur tout en préservant la même bande occupée ($R' > B$), ce qui augmente l'efficacité spectrale. Cette technique de communication au-delà de la cadence de Nyquist, plus souvent désignée par le terme *faster-than-Nyquist* (FTN), induit cependant de l'interférence entre impulsions de mise en forme (IEI).

Les objets communicants et autres capteurs utilisant des liaisons radio présentent la particularité de nécessiter des émetteurs-récepteurs énergétiquement efficaces, ce qui impose une faible complexité algorithmique. Dans le même temps, de tels systèmes utilisent souvent une répartition de la bande disponible en canaux afin de permettre à plusieurs réseaux de communiquer simultanément [2, 3]. Cependant, la popularité grandissante de ces systèmes entraînent des scénarios où plusieurs réseaux doivent se partager un même canal. Dans ce contexte, les communications FTN permettent de réduire l'occupation spectrale à débit équivalent, tout en conservant la même complexité au niveau de l'émetteur et, par conséquent, d'augmenter le nombre de canaux pour une bande de fréquences donnée. De plus, contrairement à d'autres manières d'augmenter l'efficacité spectrale telle que l'augmentation de la taille de l'alphabet de modulation, les systèmes FTN n'augmentent pas la sensibilité au bruit si l'IEI est correctement compensée au niveau du récepteur. D'autre part, une importante partie de ces systèmes sont voués à opérer dans un contexte multitrajets, éventuellement radiomobile. Sur de tels canaux, les modulations multiporteuses se révèlent particulièrement efficaces puisqu'elles permettent de choisir des impulsions de mise en forme adaptées à la sélectivité temps-fréquence du canal, diminuant ainsi la complexité de l'égalisation en réception [4]. Les techniques de transmission FTN peuvent être étendues à ce type de modulation [5]. Dans ce cas, en notant T_0 la durée d'un symbole multiporteuse et F_0 l'écart interporteuse, on peut montrer que les familles d'émission et de réception ne sont plus biorthogonales (elles peuvent cependant former des frames redondantes) si $F_0 T_0 < 1$, ce qui mène à l'apparition d'IEI en temps et en fréquence.

Ainsi, dans cet article, nous nous intéresserons à l'émetteur-récepteur linéaire multiporteuse optimal au sens de la maximisation du rapport signal sur bruit plus interférence (RSIB), tel que développé dans [6]. Ce système s'appuie sur l'utilisation de frames de Gabor étroites en émission et en réception. Nous montrerons par simulation que le terme d'interférence lié à l'IEI peut-être modélisé par une variable aléatoire Gaussienne. Cela nous permettra d'obtenir une expression analytique de la probabilité d'erreur en fonction du rapport signal à bruit (RSB), laquelle sera également vérifiée par simulation. Nous nous intéresserons également aux performances en termes de taux d'erreur binaire (TEB) de différentes solutions de compensation de l'interférence résiduelle (égalisation à retour de décision, utilisation de codes LDPC), et proposerons des outils permettant de les prédire sans recourir à des simulations.

Références bibliographiques

- [1] H. NYQUIST : Certain topics in telegraph transmission theory. *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the*, 47(2):617–644, 1928.

- [2] IEEE standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks–specific requirements part 11 : Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. *IEEE Std 802.11-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007)*, March 2012.
- [3] IEEE standard for local and metropolitan area networks - part 15.4 : Low-rate wireless personal area networks (lr-wpans) - amendment 7 : Physical layer for rail communications and control (rcc). *IEEE Std 802.15.4p-2014 (Amendment to IEEE Std 802.15.4-2011 as amended by IEEE Std 802.15.4e-2012, IEEE Std 802.15.4f-2012, IEEE Std 802.15.4g-2012, IEEE Std 802.15.4j-2013, IEEE Std 802.15.4k-2013, and IEEE Std 802.15.4m-2014)*, May 2014.
- [4] W. KOZEK et A.F. MOLISCH : Nonorthogonal pulseshapes for multicarrier communications in doubly dispersive channels. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 16(8):1579–1589, Oct 1998.
- [5] F. RUSEK et J.B. ANDERSON : The two dimensional Mazo limit. *In Information Theory, 2005. ISIT 2005. Proceedings. International Symposium on*, pages 970 –974, sept. 2005.
- [6] C. SICLET, D. ROQUE, Huaqiang SHU et P. SIOHAN : On the study of faster-than-Nyquist multicarrier signaling based on frame theory. *In Wireless Communications Systems (ISWCS), 2014 11th International Symposium on*, pages 251–255, Aug 2014.