

Gestion de la consommation d'énergie pour les systèmes Sub-THz à très large bande

Mohamad YOUNES¹, Yves LOUET²

¹Académie Militaire de Saint-Cyr Coëtquidan, Centre de Recherche de Coëtquidan, 56380, Guer, France, mohamad.younes@st-cyr.terre-net.defense.gouv.fr

²CentraleSupélec, Campus de Rennes, IETR UMR CNRS 6164, 35576, Cesson-Sévigné, France, Yves.Louet@centralesupelec.fr

Mots clés : Communications Sub-THz, Consommation énergétique, Efficacité spectrale, Optimisation.

Keywords: Sub-THz communications, Energy consumption, Spectral efficiency, Optimization.

Résumé/Abstract

La communauté scientifique ainsi que les entreprises du secteur des télécommunications se tournent de plus en plus vers la 6G. L'une des possibilités admises par la communauté pour la 6G est l'utilisation de bandes Sub-THz (0.1 THz - 1 THz). Ces bandes de fréquences sont étudiées avec un grand intérêt, puisqu'elles permettraient de communiquer sur une très large bande passante (plusieurs GHz), à des débits de données très élevés et avec une faible latence. En revanche, les communications aux fréquences Sub-THz posent des problèmes liés à leurs fortes consommations. C'est ce que nous étudions dans cet article. Nous cherchons à optimiser l'efficacité spectrale tout en minimisant la consommation énergétique du système de communication. L'optimisation est réalisée en prenant en compte la consommation d'énergie de l'amplificateur de puissance et l'énergie consommée par les unités de bande de base. Une attention particulière est ainsi portée à l'évaluation de l'impact de la distance de transmission et de la puissance consommée par les unités de bande de base sur les métriques optimales de consommation énergétique et d'efficacité spectrale.

More and more, the telecom industry as well as the scientific community are turning to 6G. One of the possibilities accepted by the community for 6G is the use of Sub-THz bands (0.1 THz - 1 THz). These frequency bands are being studied with great interest, since they would allow communication over a very wide bandwidth (several GHz), at very high data rates and with low latency. However, communications at Sub-THz frequencies raise problems due to their high consumption. This is what we study in this paper. We seek to optimize the spectral efficiency while minimizing the energy consumption of the communication system. The optimization is performed by taking into account the power consumption of the power amplifier and the energy consumed by the baseband units. Particular attention is thus paid to the evaluation of the impact of the transmission distance and the power consumed by the baseband units on the optimal energy consumption and spectral efficiency metrics.

1 Consommation énergétique sous contrainte de qualités de services

Cet article se concentre sur la recherche du compromis optimal entre l'efficacité spectrale et la consommation d'énergie dans le contexte Sub-THz en considérant la consommation d'énergie de l'amplificateur de puissance et des équipements de bande de base. Cependant, comme la façon d'évaluer la consommation d'énergie n'est pas le point central de notre travail, nous la considérerons comme une boîte noire. Ainsi, dans le cadre d'une communication SISO (Single Input Single Output), nous avons supposé que la puissance totale consommée (exprimé en W) est définie par $P_{t,tot} = P_{pa} + P_c$ où P_{pa} est la puissance consommée par l'amplificateur de puissance et calculée par $P_{pa} = \frac{1}{\eta_{PA}} P_t$ (où η_{PA} est le rendement de l'amplificateur et P_t est la puissance émise), et P_c est la puissance consommée par les équipements de bande de base et considérée comme constante.

Notons que le SNR reçu par un utilisateur est calculé par le rapport entre la puissance reçue $P_r = P_t G_t G_r \frac{k}{d^\alpha}$ (où G_t et G_r sont les gains des antennes associées à l'émission et à la réception respectivement, d est la distance émetteur-récepteur exprimée en m, k est le coefficient d'atténuation, et α est l'exposant d'affaiblissement du trajet) et la puissance du bruit au niveau du récepteur $P_N = KTB$ (où K la constante de Boltzmann, T la température du système récepteur, et B est la largeur de bande), comme suit :

$$\text{SNR} = \frac{P_r}{P_N} = P_t \frac{G_t G_r k}{KTB d^\alpha} = E_b \eta \frac{G_t G_r k}{KT d^\alpha}, (1)$$

où $E_b = \frac{P_t}{R}$ est l'énergie par bit consommée exprimée en J, et $\eta = \frac{R}{B}$ est l'efficacité spectrale exprimée en bit/s/Hz (R est le débit de donné, et B est la largeur de bande). Notons que le théorème de Shannon exprime le débit

maximal théorique réalisable (défini comme la capacité C) sur un canal à bruit blanc gaussien additif pour une communication sans erreurs. Ainsi, compte tenu de la qualité de services visée par le fournisseur, la capacité d'un système C doit satisfaire la condition suivante : $C = B \log_2(1 + \text{SNR}) = B \log_2 \left(1 + E_b \eta \frac{G_t G_r k}{K T d^\alpha} \right) \geq R$. On obtient donc l'énergie minimale par bit ($E_{b,min}$) en fonction de η comme suit : $E_{b,min} = \frac{K T d^\alpha}{G_t G_r k} \frac{2^\eta - 1}{\eta}$. Ainsi, l'énergie totale consommée (E_{btot}) est définie par la somme de l'énergie consommée par la transmission $E'_b = \frac{1}{\eta_{PA}} E_{b,min}$ et de l'énergie consommée par les unités de bande de base $E_c = \frac{P_c}{\eta B}$, comme suit :

$$E_{btot} = \frac{P_{t,tot}}{R} = E'_b + E_c = \frac{K T d^\alpha}{\eta_{PA} G_t G_r k} \frac{2^\eta - 1}{\eta} + \frac{P_c}{\eta B}. \quad (2)$$

2 Résultats de simulation

Pour répondre au deuxième amendement du standard IEEE 802.15.3d, les principaux paramètres tels que $\alpha = 2$ et $k = 6.32 \times 10^{-9}$ (pour une fréquence porteuse de 300 GHz) sont calculés conformément à [1]. Nous considérons également $G_t = 24$ dBi, $G_r = 0$ dBi et $\eta_{PA} = 1/3$. Pour évaluer le compromis « efficacité spectrale–énergie consommée », nous traçons sur la figure 1, E_{btot} en fonction de l'efficacité spectrale η en considérant différentes valeurs de la distance émetteur-récepteur d et de P_c . Nous pouvons clairement observer que E_{btot} présente une variation convexe par rapport à η . Ainsi, $E_{btot}(\eta)$ présente un minimum global de coordonnée (η^*, E_{btot}^*) où η^* est l'efficacité spectrale optimale qui induit la plus faible consommation d'énergie E_{btot}^* . Nous remarquons que lorsque d augmente de 1 m à 5 m, η^* diminue. En effet, en augmentant d , $E'_b = \frac{K T d^\alpha}{\eta_{PA} G_t G_r k} \frac{2^\eta - 1}{\eta}$ devient prédominante par rapport à $E_c = \frac{P_c}{\eta B}$, et donc la diminution de E_{btot} (qui devient proche de E'_b) impose une réduction de η . La figure 1 montre également que l'augmentation de P_c de 0.01 W à 1 W augmente η^* . En effet, en augmentant P_c , E_c devient prédominante sur E'_b et donc la diminution de E_{btot} (qui devient proche de E_c) impose une augmentation de η .

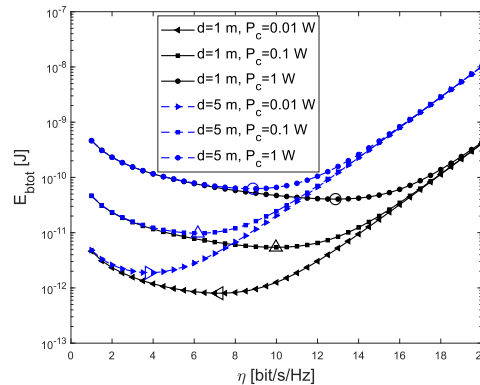


Figure 1 : Energie consommée E_{btot} en fonction de l'efficacité spectrale η pour différentes valeurs de d et de P_c .

3 Conclusion

Dans cet article, nous avons montré que dans le cas des communications Sub-THz, impliquant une portée plus courte, une fréquence porteuse plus élevée et une largeur de bande plus grande, la consommation d'énergie des unités de bande de base ne doit pas être ignorée lors de l'étude du compromis entre l'efficacité spectrale et la consommation d'énergie. Nous avons montré qu'il existe un compromis optimal entre la consommation d'énergie et l'efficacité spectrale qui permet d'obtenir la consommation d'énergie la plus faible tout en respectant la qualité de services des communications Sub-THz. Nous avons terminé notre étude en analysant l'impact de la distance de transmission et de la puissance consommée par les unités de bande de base sur le compromis optimal entre la consommation d'énergie et l'efficacité spectrale. Cependant, nous sommes conscients des limites de nos hypothèses simplificatrices et prévoyons dans nos futurs travaux d'approfondir la consommation d'énergie en examinant les facteurs qui peuvent affecter les conditions du champ lointain, ainsi que des aspects spécifiques tels que la modélisation du récepteur et les unités de traitement de bande de base.

Références bibliographiques

[1] IEEE Computer Society, "IEEE Standard for High Data Rate Wireless Multi-Media Networks, Amendment 2: 100 Gb/s Wireless Switched Point-to-Point Physical Layer", 2017, IEEE Std 802.15.3d™-2017.