

Densité optimale des stations de base du point de vue de l'efficacité énergétique pour les futurs réseaux 5G et 6G

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 : Densité optimale, Efficacité énergétique, 5G massif, Beamforming, Broadcast.

Keywords: Optimal density, Energy efficiency, Massive 5G, Beamforming, Broadcast.

Résumé/Abstract

Pour faire face à l'explosion du trafic et à la demande de nouveaux services, la transmission broadcast apparaît comme une approche prometteuse pour les réseaux de cinquième et sixième génération (5G, 6G). Une telle approche, appelée réseau à fréquence unique de multicast broadcast (MBSFN), consiste en une transmission synchronisée entre plusieurs stations de base (BS), ce qui limite les interférences, améliore la fiabilité et la couverture de la zone de service, et constitue une solution énergétique prometteuse pour les futurs réseaux 5G et 6G. Dans cet article, nous nous concentrons sur l'évaluation de la capacité de la transmission en mode broadcast via le MBSFN pour améliorer l'efficacité énergétique par rapport au mode unicast conventionnel, même lorsque ce dernier est réalisé avec la technologie de formation de faisceaux (beamforming). Nous cherchons également à déterminer la densité optimale de BS définie par la valeur seuil à partir de laquelle le mode broadcast devient plus efficace que le mode unicast (avec ou sans beamforming) en termes d'efficacité énergétique.

In order to keep up with the explosion of traffic and the demand for new services, broadcast transmission appears to be a promising approach for the Fifth and Sixth Generation (5G, 6G). Such an approach, called Multicast Broadcast Single Frequency Network (MBSFN), consists of synchronized transmission between multiple Base Stations (BS), which limits interference, improves reliability and service area coverage, and is a promising energy solution for future 5G and 6G networks. In this paper, we focus on evaluating the ability of broadcast mode transmission via MBSFN to improve energy efficiency over the conventional unicast-based network, even when the latter is realized with beamforming. We also seek to determine the optimal density of BS defined by the threshold value at which the broadcast mode becomes more efficient than the unicast mode (with or without beamforming) in terms of energy efficiency.

1 Efficacité énergétique avec le modèle de réseau considéré

La zone de service est choisie comme une zone carrée de 400 km de côté, dans laquelle des stations de base (BS) de densité λ (exprimée en termes de BS/km²) sont placées de manière aléatoire dans la zone d'étude. Nous considérons des BS tri-sectorielles (chacune ayant une ouverture de 120°) avec des antennes capables d'utiliser la technologie de beamforming (formation de faisceaux) en mode unicast. Pour le mode broadcast, nous utilisons la technique de transmission synchronisées de MBSFN, alors que pour le mode unicast avec beamforming, nous utilisons un réseau linéaire uniforme composé de M antennes par secteur de chaque BS tri-sectorielle. Le canal de transmission est modélisé en prenant en compte les effets de perte de propagation, d'évanouissement et d'obstruction, comme décrit dans [1].

L'efficacité énergétique est calculée selon la forme la plus connue par $EE = \frac{B \log_2(1+\gamma)}{P_{tx}}$, où B est la largeur de bande du système, P_{tx} est la puissance de transmission, et γ est le rapport signal sur bruit plus interférence (SINR) calculé selon [1]. Ainsi, nous calculons le gain d'efficacité énergétique (G_{EE}), pour un certain nombre de localisations de BS saisis aléatoirement, comme le rapport d'efficacité énergétique entre le mode broadcast et le mode unicast. Dans l'évaluation de ce gain d'efficacité énergétique, nous considérons que toutes les BS émettent à la même puissance P_{tx} , sur la même fréquence porteuse $f_c = 2$ GHz et sur la même largeur de bande de système $B = 5$ MHz. A la connaissance des auteurs, les études menées pour analyser et évaluer le gain énergétique que la coopération intercellulaire via la technique MBSFN peut apporter par rapport au beamforming sont encore très limitées. Cela est particulièrement vrai lorsqu'il s'agit de trouver la densité optimale de BS (déployées aléatoirement) lorsqu'elles transmettent le même contenu en mode unicast avec beamforming et broadcast. Dans ce contexte, des évaluations numériques sont effectuées dans la section suivante pour évaluer ce gain d'énergie ainsi que la densité optimale dans différentes conditions.

2 Résultats de simulation

Pour évaluer le gain énergétique que peut apporter le mode broadcast par rapport au mode unicast dans le contexte des réseaux denses, nous traçons sur la figure 1, G_{EE} en fonction de la densité λ . Nous faisons varier la valeur de λ de 0,05 à 2,5 BS/km², ce qui nous permet de décrire le cas où l'utilisateur est plus ou moins éloigné de sa BS de service. Ainsi, nous considérons deux valeurs de la puissance d'émission des BS $P_{tx} = 0.5$ W (ligne continue) et $P_{tx} = 1$ W (ligne pointillée). Les résultats de la figure 1 montrent clairement que G_{EE} diminue lorsque le nombre d'antenne M augmente. En effet, ce résultat s'explique par le fait que lorsque nous augmentons M , un gain de performance significatif est obtenu en mode unicast avec beamforming, ce qui renforce l'intérêt de ce dernier par rapport au mode broadcast en termes de SINR et donc également en termes d'efficacité énergétique, réduisant ainsi G_{EE} . Nous pouvons également observer que G_{EE} augmente avec P_{tx} . Ce résultat s'explique par le fait que, contrairement au mode unicast où le SINR ne s'améliore pas suffisamment au-delà d'une certaine valeur de P_{tx} (en raison de l'augmentation la puissance totale d'interférence qui devient comparable à la puissance utile reçue), le SINR continue d'augmenter dans le mode broadcast en raison de son efficacité à réduire les interférences. En regardant maintenant l'effet de λ sur G_{EE} , nous pouvons clairement observer que G_{EE} augmente lorsque λ augmente, renforçant ainsi l'intérêt du mode broadcast par rapport au mode unicast. Intéressons-nous maintenant à la valeur seuil de densité λ (exprimée en BS/km²) à partir duquel le mode broadcast devient plus efficace énergétiquement que le mode unicast classique (avec $M = 1$) ou même en utilisant le beamforming. On remarque que pour $P_{tx} = 0.5$ W (ligne continue), le mode broadcast domine le mode unicast avec $M = 1$ lorsque $\lambda \geq 0.25$, avec $M = 4$ lorsque $\lambda \geq 0.5$, avec $M = 8$ lorsque $\lambda \geq 0.87$ ou encore avec $M = 16$ lorsque $\lambda \geq 1.55$. En résumé, les différents résultats montrent que des gains énergétiques significatifs peuvent être obtenus avec la technique MBSFN par rapport à la transmission unicast, même avec beamforming, et ceci est d'autant plus vrai lorsque la densité de BS λ ou la puissance de transmission P_{tx} est élevée.

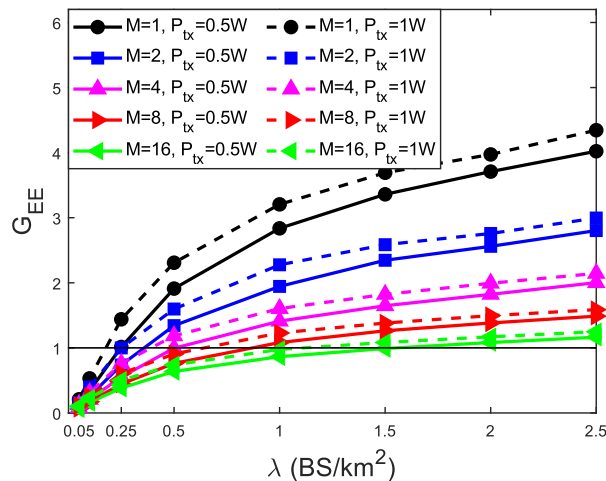


Figure 1 : Gain d'efficacité énergétique G_{EE} en fonction de λ , pour différentes valeurs de M , avec $P_{tx} = 0.5$ W (ligne continue) et 1 W (ligne pointillée)

3 Conclusion

Dans ce travail, nous avons cherché à comparer l'efficacité énergétique des modes unicast (avec et sans beamforming) et broadcast (via MBSFN) sous différentes conditions et contraintes, et à trouver le jeu de paramètres qui maximise cette efficacité énergétique. Cette étude montre les avantages de la transmission en mode broadcast par rapport à la transmission en mode unicast (même avec beamforming) pour réduire les interférences générées par les BS, qui sont distribuées aléatoirement et transmettent le même contenu en liaison descendante. Nous montrons que le gain d'efficacité énergétique que procure le mode broadcast par rapport au mode unicast augmente clairement avec l'augmentation de la densité de BS et de la puissance de transmission des BS. Les résultats indiquent également qu'il est possible de trouver une densité optimale de BS, au-delà de laquelle le mode broadcast devient plus efficace sur le plan énergétique que le mode unicast, ce qui peut être utilisé pour guider la conception topologique des futurs réseaux denses 5G et 6G.

Références bibliographiques

- [1] M. YOUNES, Y. LOUET, "Interference management for better coverage of future cellular networks", Proc. 29th IEEE International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IEEE IWSSIP 2022), Sofia, Bulgaria, 2022.