

Comparaison des modes de transmission unicast et broadcast dans le contexte de réseaux denses de stations de base distribuées de façon aléatoire

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 : Réseaux denses, Distribution aléatoire, Modes de transmission.

Keywords: Dense networks, Random distribution, Transmission modes.

Résumé/Abstract

Le trafic vidéo mobile augmente rapidement avec l'avènement des appareils mobiles connectés tels que les smartphones et les tablettes. Pour faire face à cette croissance du trafic, les réseaux cellulaires ont fait l'objet d'améliorations significatives ces dernières années, notamment via la transmission en mode broadcast lorsqu'il s'agit de fournir des services multimédia mobiles à un grand nombre d'utilisateurs. Dans cet article, nous abordons la question de l'évaluation et la comparaison des performances des modes unicast et broadcast en termes du rapport signal/bruit plus interférence (SINR), en considérant un réseau dense de cinquième génération (5G) modélisé avec des stations de base (BS) distribuées aléatoirement selon le processus ponctuel de poisson (PPP) au lieu du modèle hexagonal traditionnel. L'impact de la variation de la densité des BS est ainsi évalué, en tenant compte des interférences intra et inter cellulaires.

Mobile video traffic is growing rapidly with the advent of connected mobile devices such as smartphones and tablets. To cope with this traffic growth, cellular networks have undergone significant improvements in recent years, especially via broadcast transmission when it comes to providing mobile multimedia services to a large number of users. In this paper, we address the issue of evaluating and comparing the performance of unicast and broadcast modes in terms of Signal to Interference & Noise Ratio (SINR), considering a dense fifth generation (5G) network modeled with base stations (BS) randomly distributed according to Poisson Point Process (PPP) instead of the traditional hexagonal model. The impact of BS density variation is thus evaluated, taking into account intra and inter cell interference.

1 Modèle du système et métriques de performances

Le canal de transmission considéré prend en compte les effets de perte de propagation, d'évanouissement et d'obstruction, en se basant sur le modèle proposé par le 3rd Generation Partnership Project (3GPP) (voir [1] pour plus de détails). La zone d'étude est une zone carrée avec une densité λ (exprimée en unités de BS/km²) définie par le nombre de BS réparties selon une loi de type Poisson Point Process (PPP). Les performances en termes de SINR pour un utilisateur situé à l'origine du plan sont évaluées avec des transmissions unicast et broadcast, en supposant que toutes les BS (considérées comme tri-sectorielles) transmettent des signaux en multiplexage par répartition en fréquences orthogonales, à la même puissance d'émission (P_{tx}) et utilisent la même fréquence porteuse (f_c) et la même largeur de bande (ω). Ainsi, nous calculons la puissance du signal reçu par l'utilisateur situé à une distance r_g d'une certaine BS, comme suit :

$$P_{rx} = P_{tx} \kappa r_g^{-\alpha} h e^{\chi} G(\theta) \quad (1)$$

où κ est le coefficient d'atténuation, h est le facteur d'évanouissement considéré comme une variable aléatoire (v.a.) distribuée exponentiellement avec une moyenne unitaire, χ est le facteur d'obstruction considéré comme une v.a. qui suit une loi normale avec une moyenne nulle et une variance σ^2 , et $G(\theta)$ est le gain de l'antenne dans la direction θ modélisé comme dans [1].

En mode unicast, seule la BS de service (qui n'est pas nécessairement la plus proche de l'utilisateur) fournit une puissance de signal utile, tandis que toutes les autres BS de la zone d'étude génèrent des interférences [1]. Ainsi, la puissance du signal reçue est calculée en tenant compte de la BS de service. En ce qui concerne la puissance d'interférence, elle est décomposée en deux parties. La première partie est liée aux secteurs d'interférences de la BS de service tri-sectorielle, alors que la seconde partie concerne les autres BS appartenant à la zone d'étude.

Pour le mode broadcast, nous adoptons l'approche de réseau à fréquence unique de multicast broadcast (MBSFN : Multicast Broadcast Single Frequency Network), introduite dans la norme LTE du 3GPP en release 9. En mode

MBSFN, le même contenu est transmis en même temps sur la même fréquence par un ensemble de BS. Pour calculer la puissance totale reçue dans un réseau MBSFN comprenant N_{SFN} BS, nous utilisons la formule suivante (voir [1] pour plus de détails) :

$$P_{BC} = P_{tx} \kappa e^{\lambda} \sum_{i=1}^{N_{SFN}} \delta_i r_i^{-\alpha} h_i \sum_{j=1}^3 G(\theta_{i,j}) \quad (2)$$

où les indices i et j représentent respectivement les N_{SFN} BS dans la zone MBSFN et leurs secteurs, et δ_i est le poids de la partie utile d'un signal reçu de la BS d'indice i (calculé comme dans [1]). De la même manière, les mêmes BS du réseau MBSFN génèrent une puissance d'interférence à partir des signaux retardés.

2 Résultats de simulation

La zone de service est choisie comme un carré de côté égal à 400 km, où nous distribuons les BS selon une loi de type PPP avec une densité λ . Dans cette section, nous comparons les performances des modes unicast et broadcast, en considérant que toutes les BS transmettent à la même puissance $P_{tx} = 0.5W$ et sur la même fréquence porteuse $f_c = 2$ GHz, ainsi que la même largeur de bande $\omega = 5$ MHz. Notons que les principaux paramètres tels que $\alpha = 3.76$, $\kappa = 0.0295$, $\sigma_{dB} = 10$ dB sont conformes aux normes 3GPP [1].

Pour analyser l'effet de l'emplacement des BS, nous générons 10^4 simulations de Monte Carlo, chacune correspondant à une nouvelle distribution aléatoire des emplacements des BS. Pour chaque simulation, nous calculons le SINR pour un utilisateur situé à l'origine du plan. La figure 1 montre la fonction de distribution cumulative (CDF) de SINR en mode unicast et broadcast pour différentes valeurs de λ . Les résultats montrent que l'emplacement aléatoire des BS a un impact significatif sur le SINR reçu, en raison de la variation importante du SINR entre une valeur minimale (inférieure à -15 dB) et une valeur maximale (près de 16 dB en mode unicast et supérieure à 40 dB en mode broadcast). La figure 1 montre également que le SINR en mode unicast s'améliore avec l'augmentation de λ jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de gains significatifs au-delà de $\lambda = 0.25$ BS/km². Cela est dû à l'augmentation des interférences qui se produisent lorsque l'utilisateur se rapproche des autres BS en augmentant la densité. Au contraire, en mode broadcast, le SINR continue d'augmenter même lorsque λ dépasse 0.25 BS/km². Cette observation met en lumière l'efficacité de la technique de transmission synchronisée entre les BS (via MB-SFN) pour réduire les interférences (voir [1] pour plus de détails). Elle est particulièrement utile dans des environnements à forte densité de BS, contrairement au mode unicast, qui implique des transmissions individuelles et séparées qui peuvent entraîner une augmentation des interférences lorsque la densité de BS augmente.

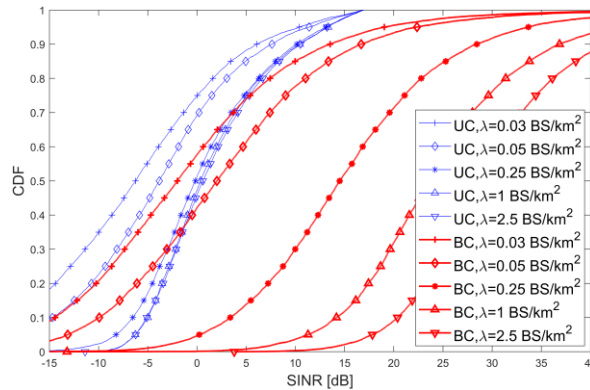


Figure 1 : CDF du SINR pour un utilisateur servi en mode unicast (UC) et en mode broadcast (BC), pour différentes valeurs de λ , avec $P_{tx} = 0.5W$.

3 Conclusion

Dans ce travail, une évaluation des modes de transmission de la couche physique des réseaux mobiles a été introduite, du point de vue de la localisation des BS distribuées suivant une loi de type PPP, en tenant compte des interférences intra et inter cellulaires. Nous avons évalué les performances des modes de transmission unicast et broadcast en termes de SINR. Ces résultats montrent que la transmission en mode broadcast est plus efficace que la transmission en mode unicast, et ceci est d'autant plus vrai lorsque la densité de BS est élevée, constituant ainsi une solution incontournable pour la transmission de masse dans les futurs réseaux denses.

Références bibliographiques

[1] M. YOUNES, Y. LOUET, "Analysis of unicast/broadcast switch over with regard to resource allocation for Future cellular networks". In 2022 4th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM) 2022 Jun 14 (pp. 605-610). IEEE.