

Analyse comparative des performances des systèmes v2x décentralisés basés sur le FD-NOMA

Ramasondrano A.¹, Randriamitantsoa A. A.², Randriamitantsoa P. A.³

Laboratoire de Recherche Télécommunication, Automatique, Signal et Images

(LR-T.A.S.I.)

Ecole Doctorale en Science et Technique de l'Ingénierie et de l'Innovation

(ED – STII)

BP 1500, Ankatso – Antananarivo 101 – Madagascar

¹*ram.imanja@gmail.com*,² *andriau23@gmail.com*,³*rpauguste@gmail.com*

Résumé

Afin de répondre aux exigences des dispositifs massivement connectés, des différentes qualités de services (QoS), des divers taux de transmission et des communications ultra fiables et à faible latence (URLLC) dans les communications véhicule-tout (V2X), nous introduisons un modèle de système V2X décentralisé à accès multiple non orthogonal (FD-NOMA) en duplex intégral. Nous classons ensuite les communications V2X en deux scénarios et donnons leurs expressions de capacité exactes. Pour résoudre les problèmes complexes de calcul des fonctions intégrales exponentielles concernées, nous donnons les expressions approximatives de forme fermée avec de petites erreurs arbitraires. Les résultats numériques indiquent la validité de nos dérivations. Notre analyse montre que la précision de nos expressions approximatives est contrôlée par la division de dans les scénarios urbains et surpeuplés, et le point de troncature T dans les scénarios

suburbains et éloignés. Les résultats numériques le démontrent :

- 1) l'augmentation du nombre de dispositifs V2X, de la puissance du NOMA et de la valeur du facteur de Rician donne une meilleure performance de capacité ;
- 2) l'effet du FD-NOMA est déterminé par l'auto-interférence du FD et le bruit du canal ;
- et 3) le FD-NOMA a une meilleure performance de latence par rapport aux autres systèmes

Mots clés : QoS, V2X, NOMA, FD-NOMA, Capacité d'analyse.

Abstract

In order to meet the requirements of massively connected devices, different quality of services (QoS), various transmit rates, and ultra-reliable and low latency communications (URLLC) in vehicle-to-everything (V2X) communications, we introduce a full duplex non-orthogonal multiple access (FD-NOMA)-based decentralized V2X system model. We, then, classify the V2X communications into two

scenarios and give their exact capacity expressions. To solve the computation complicated problems of the involved exponential integral functions, we give the approximate closed-form expressions with arbitrary small errors. Numerical results indicate the validness of our derivations. Our analysis has that the accuracy of our approximate expressions is controlled by the division of $\frac{\pi}{2}$ in the urban and crowded scenarios, and the truncation point T in the suburban and remote scenarios. Numerical results manifest that: 1) increasing the number of V2X device, NOMA power, and Rician factor value yields a better capacity performance; 2) effect of FD-NOMA is determined by the FD self-interference and the channel noise; and 3) FD-NOMA has a better latency performance compared with other schemes

Keywords: QoS, V2X, NOMA, FD-NOMA, CAPACITY ANALYSIS

1. Introduction

Il existe deux régimes distincts pour les communications V2X (Vehicle to Everything), c'est-à-dire les communications spécialisées à courte distance (DSRC) [1], [2] et les communications cellulaires V2X (C-V2X) [3], [4]. Le DSRC a été populaire au cours des dernières décennies. Récemment, le C-V2X a fait objet d'une grande attention avec des appareils à croissance explosive se connectant aux réseaux sans fil. Grâce au

réseau cellulaire, le C-V2X peut connecter davantage de dispositifs V2X [5], [6] ; il peut établir le lien entre les véhicules, les infrastructures intelligentes et les piétons. C-V2X fonctionne selon deux modes. Premièrement, en mode de communication directe (DC), les dispositifs V2X peuvent communiquer directement entre eux. Les exemples les plus connus sont les communications entre véhicules (V2V) et entre véhicules et piétons (V2P). Deuxièmement, dans le mode de communication par réseau (NC), la station de base cellulaire (BS) joue le rôle dominant, et les dispositifs V2X communiquent avec (ou à l'aide de) la cellule, par exemple, les communications de véhicule à réseau (V2N), de véhicule à infrastructure (V2I). Cependant, la version actuelle du C-V2X (c'est-à-dire l'évolution à long terme V2X (LTE-V2X)) ne peut pas satisfaire pleinement aux exigences de faible latence, de qualité de service (QoS) variable et de différents taux de transmission [6], [7].

En outre, les systèmes LTE-V2X existants à accès multiple par répartition en fréquence orthogonale (OFDMA) ont besoin d'orthogonalité. À la différence des communications sans fil statiques ou non mobiles, l'effet Doppler causé par les véhicules en mouvement est un problème vital pour les systèmes LTE-V2X basés sur l'OFDMA [8]. Comme on le sait, le décalage de la fréquence porteuse (CFO) causé par

l'effet Doppler entraînera des interférences entre porteuses (ICI) pour les communications sans fil basées sur l'OFDM [9]. Dans la littérature, diverses études ont été réalisées pour résoudre le problème de compensation de la fréquence porteuse. Cependant, comme les oscillateurs ne peuvent jamais osciller à la même fréquence, dans les communications sans fil basées sur l'OFDMA, l'effet secondaire du CFO existe toujours, même dans des circonstances non mobiles [9].

Il est à noter qu'en plus de l'OFDMA, certaines technologies de cinquième génération (5G) peuvent être utilisées pour résoudre les problèmes de faible latence [11], de qualité de service variable et de différents taux de transmission dans les communications V2X. Du point de vue de la couche supérieure, les réseaux définis par logiciel (SDN), avec leur plan de contrôle centralisé et leurs multiples nœuds distribués, sont plus adaptés aux communications des véhicules. Grâce à l'apprentissage machine et à l'analyse de données volumineuses, nous pouvons surveiller tous les types d'événements et maintenir un état global du réseau [12]. Du point de vue de la couche physique, sous la contrainte de ressources à fréquence égale, le NOMA peut accueillir plus d'utilisateurs que le schéma d'accès multiple orthogonal (OMA). En outre, ces utilisateurs peuvent avoir des exigences de qualité de service différentes [13]. En outre, le NOMA est insensible à l'effet CFO causé par les

véhicules en mouvement en raison de sa fréquence non orthogonale. Le NOMA utilise le même bloc de ressources (RB) pour la transmission de plusieurs utilisateurs, ce qui peut réduire le goulot d'étranglement du spectre des communications sans fil. Le NOMA peut coupler des utilisateurs ayant des débits de transmission différents pour une transmission simultanée. D'autre part, tout en transmettant et en recevant simultanément des informations, le duplex intégral (FD) peut offrir une vitesse plus rapide et de meilleures performances en termes d'efficacité du spectre (SE) [13]. En outre, le duplex intégral peut offrir des communications fiables, ce qui est utile pour les applications V2X telles que la navigation et la diffusion de messages d'urgence.

1.1. Travaux Connexes et motivations

Des travaux antérieurs ont été réalisés sur le FD-NOMA. Par exemple, il a été constaté que le FD-NOMA peut supprimer de manière significative les interférences entre les canaux et obtenir de meilleures performances par rapport au NOMA en semi-duplex (HD-NOMA) et à l'accès multiple orthogonal (OMA). Les résultats d'analyse et de simulation ont démontré que la performance de la région de taux du FD-NOMA est supérieure à celle du NOMA. Les résultats d'analyse et de simulation indiquent que le FD-NOMA améliore les performances du système 5G par rapport au HD-NOMA. Sur la base du modèle du système de relais, les

résultats de l'analyse et de la simulation dans [13] indiquent que le FD-NOMA surpasse le HD-NOMA en termes de probabilité de panne et de taux de somme ergodique dans la région de faible rapport signal/bruit (SNR), mais affiche une performance inférieure dans la région de SNR élevé.

En ce qui concerne les communications V2X, il existe des travaux sur NOMA-V2X et FD-V2X sur la base du NOMA, Khoueiry et Soleymani ont proposé des techniques de codage pratique basé sur des graphes et de décodage de la propagation conjointe des croyances (BP), qui permettent d'obtenir toute paire de taux proche de la région de capacité. Di et al. [6] ont utilisé le NOMA pour les communications URLLC tout en proposant un schéma mixte centralisé/distribué (NOMA-MCD) basé sur le NOMA afin de réduire la collision des ressources. Un schéma d'alignement d'interférence aveugle optimal a été proposé pour la coexistence des modes FD et HD. Ce schéma peut améliorer la performance de la somme du taux dans le régime SNR fini. Cependant, la plupart de ces études sur les communications NOMA-V2X et FD-V2X sont basées sur le mode NC, ce qui constitue un défi pour la connexion de dispositifs V2X massifs en raison de la restriction du débit cellulaire. Bien que les auteurs aient étudié les systèmes NOMA-V2X décentralisés, il n'y a pas eu d'analyse de capacité pour un tel système. À notre connaissance, une étude sur l'impact des

techniques FD-NOMA sur les systèmes V2X est rare, ce qui nous motive à développer ce traité.

Dans la littérature, différents modèles de canaux sont utilisés pour l'analyse des capacités ergodiques, par exemple, le modèle de canal $\kappa - \mu$ et $\eta - \mu$ le modèle de canal. Cependant, il est difficile d'obtenir l'expression de la capacité sous forme fermée dans ces modèles de canaux en raison des opérations en série infinie qu'ils impliquent. Les auteurs ont donc utilisé des conditions et des méthodes spéciales pour donner les expressions de forme fermée, par exemple, μ avec des valeurs entières positives [12] et la méthode approximative [8]. D'autre part, la difficulté d'obtenir une expression de forme fermée avec le modèle de canal de Rayleigh ou de Rician réside dans les fonctions exponentielles intégrales impliquées. Afin de résoudre ce problème, quelques méthodes et algorithmes approximatifs ont été proposés, par exemple, la méthode de Swamee et Ohija pour les fonctions exponentielles intégrales [10] et l'algorithme rapide et précis pour les fonctions exponentielles intégrales généralisées [11]. Cependant, ces méthodes sont basées sur des conditions particulières (par exemple [10]) ou avec une faible précision (par exemple [7]). Dans cet article, nous donnons les expressions de capacité approximatives de forme fermée pour les modèles de canaux de Rayleigh et de Rician

tout en apprivoisant les fonctions intégrales exponentielles gênantes.

Dans ce travail, nous proposons le modèle de système décentralisé V2X basé sur FD-NOMA, et fournissons également l'analyse de capacité pour obtenir les expressions de capacité approximatives de forme fermée avec une grande précision. Nous essayons de répondre aux questions clés suivantes.

- Pouvons-nous utiliser une seule solution pour répondre aux exigences des communications V2X ? Si ce n'est pas possible, qu'en est-il d'une combinaison de techniques FD-NOMA ?
- Si la combinaison est réalisable pour satisfaire aux exigences des communications V2X, qu'en est-il de la capacité et des performances de débit des systèmes V2X ?
- Existe-t-il des expressions approximatives pour les expressions de capacité avec une petite erreur arbitraire et une faible complexité de calcul ?

Les principales contributions de ce travail peuvent être résumées comme suit :

- Les systèmes V2X décentralisés basés sur le FD-NOMA peuvent partiellement décharger le réseau cellulaire. Comparé à l'OFDMA, le NOMA est insensible à l'effet Doppler causé par les véhicules en mouvement.

En outre, le FD-NOMA peut accueillir davantage d'utilisateurs avec des QoS et des débits de transmission différents pour une transmission et une réception simultanée.

- Sur la base du modèle de système, nous dérivons les expressions exactes de la capacité ergodique du système et leurs expressions approximatives de forme fermée pour les deux scénarios. Ces expressions approximatives de forme fermée sont peu complexes à calculer et comportent de petites erreurs arbitraires contrôlables par rapport aux expressions approximatives existantes. Notre analyse nous a permis de constater que 1) la précision de notre expression approximative simplifiée dans les scénarios urbains et de surpopulation est contrôlée par la division associée de $\frac{\pi}{2}$

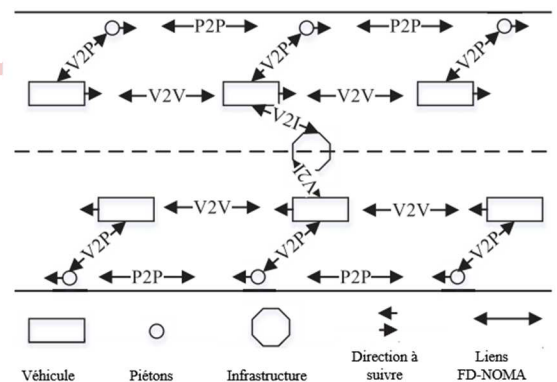


Figure.1 - Le modèle de système V2X décentralisé basé sur le M ↔ N FD-NOMA. Les communications entre les dispositifs V2X peuvent être réalisées par FD-NOMA travaillant sur le mode DC

Le modèle du système V2X décentralisé basé sur FD-NOMA est donné à la figure 1. Ce système est légèrement différent des systèmes existants sur les points suivants. A) Contrairement aux études existantes sur le FD-NOMA, aucun système de relais n'est utilisé en raison de l'énergie limitée du véhicule. B) Les dispositifs V2X peuvent communiquer directement entre eux en mode DC sans l'aide du cellulaire, et le contenu nécessaire est obtenu à partir de caches V2X voisines [13]. Ce modèle de système a donc une distance de transmission plus courte et une meilleure performance de latence [13]. La charge du réseau cellulaire peut également être réduite.

On peut remarquer que pour simplifier l'analyse, seules les communications V2V et V2I sont prises en compte dans les études V2X existantes. Comme nous l'avons vu, V2X ne se limite pas aux véhicules, mais vise à relier tout ce qui se trouve sur la route. Afin de faire face à cette tendance, dans nos systèmes V2X décentralisés basés sur FD-NOMA, tous les dispositifs V2X (véhicule, piéton, feux de circulation, etc.) sont inclus de manière exhaustive. Les énormes dispositifs connectés et leurs diverses applications rendent les communications V2X plus compliquées. Pour résoudre ce problème insoluble, nous classons les communications V2X dans deux scénarios : 1) le scénario urbain et surpeuplé et 2) le scénario suburbain et distant.

Dans un scénario urbain et surpeuplé, l'évanouissement de Rayleigh peut être utilisé comme modèle de canal. Ceci est dû aux liens de réflexion et de réfraction abondants entre la source et la destination [12]. En revanche, le modèle de canal de Rician est adapté au scénario suburbain et éloigné en raison du nombre réduit d'obstacles, où nous pouvons toujours établir un composante LoS de la source à la destination.

Dans les systèmes V2X décentralisés basés sur le FD-NOMA, la matrice de canaux des sources M vers les destinations N est :

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ \vdots \\ h_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \dots & h_{1,M} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \dots & h_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N,1} & h_{N,2} & \dots & h_{N,M} \end{bmatrix} \in \mathbb{C}^{N \times M}, \quad (1)$$

où $h_{i,j}$ est le canal entre la source i et la destination j . Dans ce cas, le signal reçu peut être donné comme :

$$y = \mathbf{H}\sqrt{\mathbf{p}} \cdot x + n, \quad (2)$$

Où $\sqrt{\mathbf{p}} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ est la matrice de puissance NOMA allouée à la liaison descendante, $x \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ est le signal d'émission de la liaison descendante et $n \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2 \mathbf{I}_N)$ est le bruit du canal de la liaison descendante. Dans la condition où le canal de la liaison montante $\hat{\mathbf{H}} = \mathbf{H}^T$ est en mode FD, les informations de transmission de la liaison montante en mode FD seront

$$y = \mathbf{H}\sqrt{\mathbf{p}} \cdot z + \hat{n} \quad (3)$$

Où $z \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ est l'information sur la liaison montante. Les vecteurs de puissance et de

bruit des canaux NOMA peuvent donc être donnés sous la forme, $\hat{\mathbf{p}} = \mathbf{p}^T$, $\hat{\mathbf{n}} = \mathbf{n}^T$.

La puissance totale reçue par la destination n en provenance de toutes les sources M est donnée par :

$$p_n = p_{1,n} + p_{2,n} + \dots + p_{M,n}. \quad (4)$$

Similaire,

$$\hat{p}_n = \hat{p}_{n,1} + \hat{p}_{n,2} + \dots + \hat{p}_{n,M}, \quad (5)$$

$$C_{sum} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{p_{i,j} |h_{i,j}|^2}{\rho(\sum_{l=j+1}^N p_{i,l} + \eta \hat{p}_{i,k} + \sigma^2)} \right), \quad (6)$$

$$C_{sum} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \log_2 \left[1 + \frac{|h_{i,j}|^2}{\rho(\sum_{l=j+1}^N \alpha_{i,l} + \eta \alpha_{i,k}) + 1} \right], \quad (5)$$

est le pouvoir d'auto-interférence lors de la transmission d'informations à des destinations M à partir de la source.

Remarque 1 :

Le signal reçu est composé des informations reçues sur la liaison descendante et de l'auto-interférence de la liaison montante FD. D'autre part, les processus de transmission et de réception dans les systèmes V2X décentralisés basés sur FD-NOMA sont différents des communications cellulaires centralisées, c'est-à-dire que chaque destination V2X peut recevoir des informations avec différents vecteurs de puissance NOMA provenant de multiples sources distribuées. En faisant appel aux techniques FD-NOMA pour la transmission et la réception simultanées, la puissance reçue et

transmise par chaque dispositif V2X est p_n , \hat{p}_n ,

3. L'ANALYSE DES CAPACITÉS ERGODIQUES DANS DIFFÉRENTS SCÉNARIOS

Dans les systèmes décentralisés FD-NOMA V2X, les canaux de transmission ne sont pas corrélés. Dans ce cas, le NOMA à entrées multiples et sorties multiples considéré (MIMO-NOMA) peut être traité comme

Une somme de liaisons NOMA à entrées uniques et sorties uniques additives (SISO-NOMA). De plus, comme dans les travaux précédents [6], [11], nous adoptons un ordre croissant de la réponse du canal, ce qui signifie $|h_{i,1}|^2 \leq \dots, |h_{i,j}|^2 \leq \dots, \leq |h_{i,N}|^2, \forall i \in [1, M], j \in [1, N]$, vice versa.

Dans ce cas, après annulation des interférences successives (SIC), les interférences NOMA sur le co-canal du i-ème utilisateur vont du (i + 1)-ème utilisateur au N-ème utilisateur [11].

Selon la théorie de Shannon [7], la capacité réalisable de chaque destination peut être donnée par (6), indiqué en haut de cette page, voir l'équation en haut de la page suivante. Ici, $\sum_{l=i+1}^N p_{i,l}$, on obtient l'interférence sur le même canal des utilisateurs voisins après le SIC, $\eta \hat{p}_{i,k}$ c'est l'interférence propre de la liaison montante FD, σ^2 est la puissance de bruit du canal, respectivement. En outre, η le coefficient d'auto-interférence avec $\eta \in$

[0, 1], rend nos expressions polyvalentes pour décrire différents schémas. Par exemple, dans le schéma FD-NOMA, une grande valeur η indique une forte auto-interférence FD, et une petite valeur indique une faible auto-interférence FD.

À condition que $\eta = 0$, l'expression se réduit à la pure expression NOMA. Sur la base de (6), la normalisation de la valeur de la puissance de bruit du canal donnera (7), indiqué en haut de cette page.

Voici ρ le SNR, et nous utilisons $\alpha_{i,j}, \alpha_{i,l}, \alpha_{i,k}$ pour indiquer le coefficient de puissance NOMA alloué avec une transmission FD conforme à une valeur normalisée de la puissance de bruit du canal. Dans la suite, nous adoptons la puissance de bruit normalisée.

3.1. Analyse de la capacité ergodique dans un scénario urbain et de surpeuplé

Nous analysons d'abord la capacité de la somme réalisable dans un scénario urbain et surpeuplé. Notez que nous utilisons l'exposant a et c pour distinguer les différents scénarios. Dans le scénario urbain et surpeuplé, la PDF du rapport instantané signal/interférence plus bruit (SINR) dans chaque tranche de temps, par exemple, $\gamma_{i,j}$ est donnée par

$$f^a(\gamma_{i,j}) = \frac{1}{\bar{\gamma}_{i,j}} e^{-\frac{\gamma_{i,j}}{\bar{\gamma}_{i,j}}}, \quad (7)$$

D'où

$$\bar{\gamma}_{i,j} = \frac{\rho \alpha_{i,j}}{\rho(\sum_{l=i+1}^N \alpha_{i,l} + \eta \alpha_{i,k}) + 1}$$

Est le gain moyen de puissance du canal de chaque destination. Comme on le sait, la capacité ergodique est obtenue en expérimentant tous les états d'évanouissement du canal, ce qui signifie :

$$\begin{aligned} C_{i,j}^a &= \mathbb{E}[\log_2(1 + \gamma_{i,j})] \quad (8) \\ &= \int_0^{+\infty} \log_2(1 + \gamma_{i,j}) f^a(\gamma_{i,j}) d\gamma_{i,j} \\ &= \int_0^{+\infty} \log_2(1 + \gamma_{i,j}) \frac{1}{\bar{\gamma}_{i,j}} e^{-\frac{\gamma_{i,j}}{\bar{\gamma}_{i,j}}} d\gamma_{i,j}. \end{aligned}$$

Dans le théorème suivant, nous fournissons l'expression exacte de la capacité ergodique des systèmes V2X décentralisés basés sur FD-NOMA.

Dans un scénario urbain et surpeuplé, la somme exacte réalisable de la capacité ergodique des systèmes V2X décentralisés basés sur le FD-NOMA est :

$$C_{sum}^a = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N e^{\frac{1}{\bar{\gamma}_{i,j}}} E_1 \left[\frac{1}{\bar{\gamma}_{i,j}} \right] \log_2 e, \quad (9)$$

D'où $E_1(x)$ est la fonction intégrale exponentielle qui a été définie comme

$$E_1(x) = \int_x^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt. \quad (10)$$

Afin de vérifier la justesse de cette expression, nous comparons les performances de l'expression exacte, de l'expression approximative et de l'approximation bien connue de Swamee et Ohija. Notez que l'expression de l'approximation de Swamee et Ohija est donnée par [5]

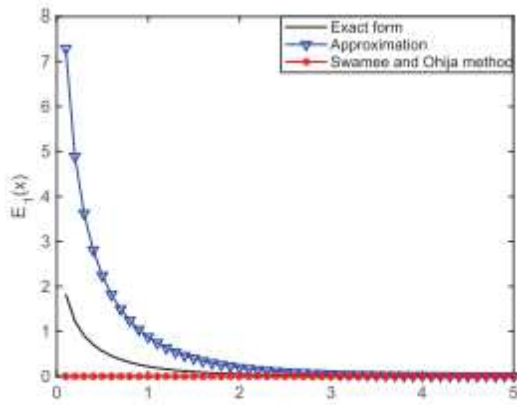


Figure 2. Comparaison de l'exacte, approximation et Swamee et expressions à base Ohija.

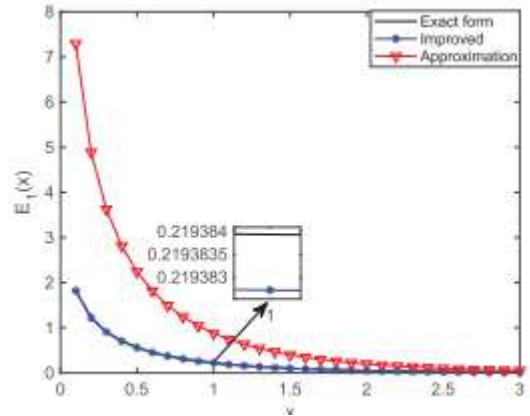


Figure 3. Comparaison des expressions exactes, améliorées et approximatives.

En outre, on peut voir sur la figure 2 que la courbe d'approximation présente une courbure similaire à la courbe exacte. On peut s'attendre à ce qu'un facteur de coefficient à l'expression de forme fermée puisse améliorer la précision, c'est-à-dire

$$E_1'(x) = q4\pi \sum_{k=1}^{n+1} \sum_{s=1}^{t+1} a_k \sqrt{b_k} a_s e^{-b_k b_s x} \quad (11)$$

Par conséquent, notre tâche consiste à trouver un q satisfaisant

$$|E_1'(x) - E_1(x)| \leq \epsilon. \quad (12)$$

Ici, nous utilisons $\epsilon = 0.00001$. Après quelques manipulations, nous constatons que lorsque $q = \frac{1}{4}$, la condition ci-dessus est remplie (par exemple, $|E_1'(1) - E_1(1)| = |0.2193827 - 0.2193839| = 1.2187 \times 10^{-6}$).

Nous avons donc une expression de forme fermée approximative

En tant que $E_1(1)$

$$E_1(x) \approx \pi \sum_{k=1}^{n+1} \sum_{s=1}^{t+1} a_k \sqrt{b_k} a_s e^{-b_k b_s x} \quad (13)$$

3.2. Analyse de la capacité ergodique dans un scénario suburbain et éloigné

Dans la section précédente, nous avons obtenu des formes exactes et approximatives de la capacité des systèmes V2X décentralisés basés sur le FD-NOMA dans un scénario urbain et surpeuplé. On va essayer de nous concentrer sur l'analyse de la capacité du système dans le scénario suburbain et éloigné. Nous utilisons K comme facteur de Rician (qui est le rapport entre la composante déterministe et la composante aléatoire à évanouissement rapide). Il est à noter que dans le canal Rician, nous avons :

$$K = \frac{r^2}{2\omega^2}. \quad (14)$$

Où r^2 donne le gain de canal du composant LoS, $2\omega^2$ est le gain de puissance moyen du canal de tous les composants NLoS. En

définissant le gain de puissance moyen total comme $\bar{\gamma}$ et suivant le travail précédent dans [8], la PDF de $\gamma_{i,j}$ peut être donnée comme :

$$f^c(\gamma_{i,j}) = \frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}} e^{\left[-K - \frac{(K+1)\gamma_{i,j}}{\bar{\gamma}_{i,j}}\right]} I_0\left(\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma_{i,j}}{\bar{\gamma}_{i,j}}}\right). \quad (15)$$

Voici $I_0(\cdot)$ le premier type de fonction de Bessel modifiée avec un ordre zéro. En suivant une procédure similaire à celle de l'analyse précédente, nous pouvons obtenir le théorème 2.

Théorème 2 : L'expression exacte de la capacité ergodique des systèmes V2X décentralisés basés sur le FD-NOMA dans un scénario suburbain et distant est donnée par

$$C_{sum}^c = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{e^{-K}}{\ln 2} e^{\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{K^m}{m!} \sum_{l=1}^{m+1} E_{m-l+2} \left(\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}\right) \quad (16)$$

Voici $E_n(x)$ la fonction intégrale exponentielle généralisée définie par [9] :

$$E_n(x) = \int_1^{\infty} \frac{e^{-xt}}{t^n} dt \quad (\text{Re}(x) > 0), \quad (17)$$

D'où $\text{Re}(x)$ se produit la partie réelle de x

Cette expression est encore difficile à utiliser directement en raison des expressions intégrales factorielles infinies et exponentielles généralisées qui sont impliquées. Afin d'apprivoiser ce problème gênant, nous donnons une expression approximative avec une petite erreur arbitraire en invoquant la méthode de troncature dans la suite. Nous constatons que l'expression suivante

$$\sum_{m=0}^{\infty} \frac{K^m}{m!} \sum_{q=1}^{m+1} E_{m-q+2} \left(\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}\right). \quad (18)$$

A une approximation du plafond supérieur, comme le montre le Corollaire 2. Dans ce cas, la capacité du système peut être donnée par une expression approximative avec une complexité de calcul beaucoup plus faible et une petite erreur arbitraire, ϵ .

Corollaire 2 : En tronquant la série infinie par rapport à T , l'expression de la capacité est approximativement donnée comme

$$C_{sum}^c = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{e^{-K}}{\ln 2} e^{\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}} \sum_{m=0}^T \frac{K^m}{m!} \sum_{q=1}^{m+1} E_{m-q+2} \left(\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}\right), \quad (19)$$

L'erreur de troncature est :

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{e^{-K}}{\ln 2} e^{\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}} \sum_{m=T+1}^{\infty} \frac{K^m}{m!} \sum_{q=1}^{m+1} E_{m-q+2} \left(\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}\right), \quad (20)$$

Remarque 3 : On peut remarquer que l'exactitude de l'expression approximative dans (31) est contrôlée par T . En d'autres termes, on peut obtenir une expression approximative avec une petite erreur arbitraire lorsque

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{e^{-K}}{\ln 2} e^{\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}} \sum_{m=T+1}^{\infty} \frac{K^m}{m!} \sum_{q=1}^{m+1} E_{m-q+2} \left(\frac{K+1}{\bar{\gamma}_{i,j}}\right) < \epsilon.$$

Tableau 1 - Temps consommé (second) des simulations app et mc avec $\rho = 15$ db

Scénario urbain et surpeuplé	App	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000
	MC	83,0272	89,2913	83,0986	80,8462	81,7240	87,6330	91,5975	87,3378
Scénario de banlieue et d'éloignement	App	0,0781	0,0153	0,0036	0,0034	0,0066	0,0035	0,4032	0,06056
	MC	92,9720	89,8830	89,6005	92,4459	95,3015	97,2475	95,9309	94,8763

Le corollaire 2 montre que l'expression de la capacité du système est déterminée par $M, N, \bar{\gamma}_{i,j}$ et K . Plus M, N augmente, plus la capacité du système augmente. Les effets précis de $\bar{\gamma}_{i,j}, K$ sur la capacité sont encore non intuitifs, et seront examinés dans la section suivante.

4. RESULTATS NUMERIQUES

Dans cette section, nous effectuons les simulations de Monte Carlo pour vérifier la validité de notre analyse. Nous effectuons également des simulations pour exposer les effets de différents paramètres sur la capacité du système, et nous comparons les performances entre les systèmes FD-NOMA et NOMA sur la base des systèmes V2X décentralisés compatibles FD-NOMA.

En raison des paramètres variables, nous les expliquons séparément et leurs valeurs dans les simulations suivantes.

Nous vérifions d'abord la validité des expressions de capacité dérivées dans (25) et (31). Dans ces simulations, par souci de compacité, une source avec plusieurs destinations est utilisée, où la source utilise le schéma FD-NOMA pour desservir ces destinations. Nous supposons également que la variance de puissance NOMA allouée croît de manière linéaire avec une valeur de variance de bruit normalisée (par exemple, avec 4 utilisateurs, le vecteur de puissance NOMA est $\mathbf{a}_i = [4, 3, 2, 1]$, où $\mathbf{a}_i = [\alpha_{i,1}, \dots, \alpha_{i,N}]$). De plus, sont utilisés

$\eta = 0.1, \alpha_{i,k} = 5$ comme le montrent clairement les figures 3 et 4, nos résultats d'analyse et les résultats de la Monte Carlo coïncident presque exactement, ce qui démontre la validité de notre analyse. Par exemple, sur la figure 4, avec $\rho = 15 \text{ dB}, 1 \leftrightarrow 4$, on a :

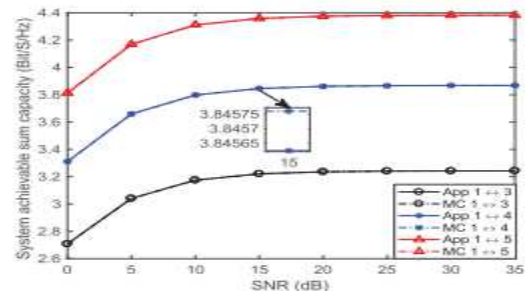


Figure 4. Comparaison des performances totales de capacité réalisables du système d'approximatif et Monte Carlo aboutissent à un scénario urbain et encombré.

Les résultats approximatifs sont obtenus respectivement de 3,6865, 3,6866 Bit/S/Hz. Dans les mêmes conditions, comme le montre la figure 4, le résultat Monte Carlo sont respectivement de 3,8458 et 3,8455 Bit/S/Hz. Les différences sont inférieures à 0,001 Bit/S/Hz dans les deux scénarios.

Nous observons également que plus les valeurs N, ρ augmentent, plus la capacité du système augmente.

En comparant les figures 4 et 5, nous constatons que, dans les mêmes conditions, les capacités dans le scénario suburbain et éloigné sont toujours plus performantes que dans le scénario urbain et surpeuplé (par exemple, dans le cas où $1 \leftrightarrow 3$, $\text{SNR} = 0 \text{ dB}$ $C_{sum}^c = 125\% C_{sum}^a$; $\text{SNR} = 30 \text{ dB}$, $C_{sum}^c =$

103% C_{sum}^a). Cela est dû au fait que l'affaiblissement de propagation est moindre avec un trajet de boucle locale dominant entre la source et la destination dans le scénario suburbain et éloigné.

Afin de vérifier les avantages de nos expressions analytiques, nous comparons le temps consommé des simulations approximatif et Mont Carlo du tableau I avec $\rho = 15 \text{ dB}$ à titre d'exemple. Dans ces simulations, des processeurs à huit cœurs de 2.6 GHz, une mémoire de 12 Go et un système d'exploitation Windows 10 de 64 bits sont utilisés. Les résultats sont arrondis à quatre décimales. Comme le montre le tableau 1, le temps consommé de nos expressions analytiques est environ 10^6 plus court que les simulations Mont Carlo.

Dans l'étape suivante, nous vérifions l'effet du facteur Rician K sur la capacité du système dans un scénario de banlieue et d'éloignement. Afin de garder comme seule variable, nous effectuons quelques manipulations comme suit : 1) nous gardons toutes les variables cohérentes sauf K ; 2) avec la valeur de puissance de bruit normalisée et 3 destinations, nous fixons $a_i = [1, 2, 3]$. Les résultats de la simulation de la capacité du système par rapport à K la valeur dans le scénario suburbain et éloigné sont donnés dans la Figure 5.

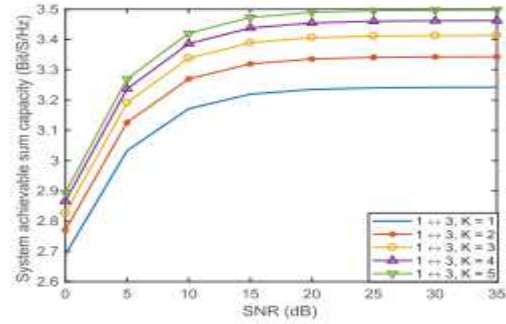


Figure 5. Comparaison des performances de capacité totale réalisables du système avec les résultats approximatif et Mont Carlo dans un scénario suburbain

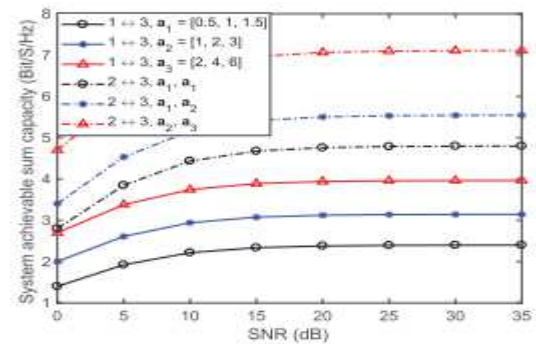


Figure 6. Comparaison des capacités avec différentes valeurs de puissance et numéros de source

Nous remarquons que la capacité du système augmente au fur et à mesure de l'augmentation de K . En effet, plus K est élevée, plus la composante LoS est forte et plus l'affaiblissement de propagation par trajets multiples est faible.

Outre les effets de N , ρ , K , et des effets de M et a_i à la capacité du système sont également vérifiés avec :

- 1) une valeur de puissance à croissance linéaire avec $M = 1$ (i.e., $a_1 = [0.5, 1, 1.5]$, $a_2 = [1, 2, 3]$, $a_3 = [2, 4, 6]$);
- 2) différents vecteurs de puissance NOMA avec $M = 2$ (i.e., $2 \leftrightarrow 3$, a_1, a_3 indiquent que deux sources transmettent des

informations à 3 destinations avec FD-NOMA, où les vecteurs de puissance NOMA sont a_1, a_2 , respectivement). Les résultats de la simulation sont donnés par les Figure 6 et 7. Comme le montrent les lignes pleines dans les deux figures, l'augmentation des valeurs de puissance entraîne une meilleure performance de capacité, qui est due à l'augmentation de la valeur du SNR. Par exemple, dans le cas $1 \leftrightarrow 3$ et un rapport signal-bruit de 20 dB SNR = 20 dB, nous avons $C_{sum}^a(a_2) = 131\% C_{sum}^a(a_1)$.

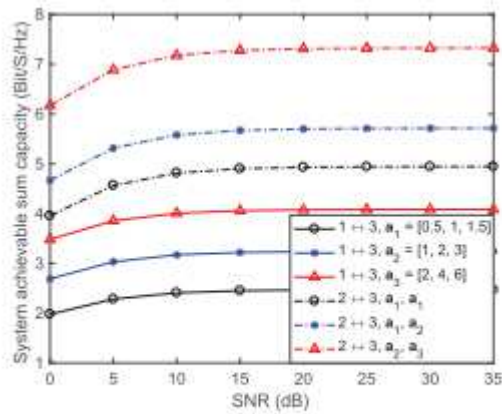


Figure 7. Comparaison des capacités avec différentes valeurs de puissance et numéros de source

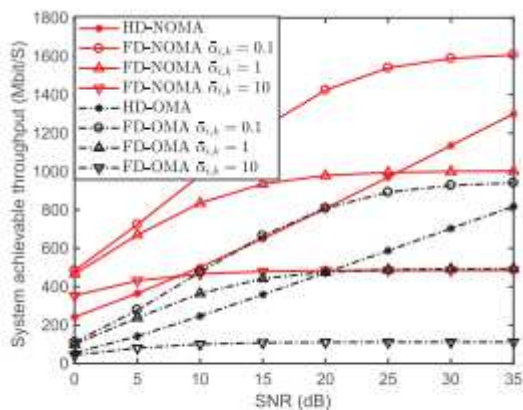


Figure 8. Comparaisons de débit réalisables avec les systèmes FD-NOMA, NOMA, FD-OMA et HD-OMA dans un scénario urbain et surpeuplé

Nous pouvons également confirmer à partir de ces deux chiffres qu'à mesure que M augmente, les capacités du système augmentent également.

Enfin, nous comparons les débits réalisables avec les schémas FD-NOMA, NOMA, FD-OMA et HD-OMA dans différents scénarios. Les résultats sont présentés aux figures 9 et 10. Dans ces simulations, la largeur de bande de la porteuse $B = 100$ MHz, $a_i = [3, 2, 1]$, $\eta = 0.1$ et $\alpha_{i,k} = 0.1, 1, 10$ sont utilisés. Afin d'être juste, nous faisons la moyenne de la puissance allouée dans les schémas FD-OMA et HD-OMA. Comme le montrent les deux figures, le schéma NOMA a un meilleur rendement de débit par rapport au schéma OMA. En outre, avec une valeur plus faible de $\alpha_{i,k}$, le régime FD-NOMA surpasse toujours les autres régimes (HD-NOMA, FD-OMA, HD-OMA). Cependant, le bénéfice de FD-NOMA diminue tout en augmentant $\alpha_{i,k}$. Cela est principalement dû à l'augmentation des auto-interférences des FD. Nous remarquons également que même avec une valeur d'auto-interférence plus élevée, le FD-NOMA surpasse le NOMA dans un scénario de faible SNR (c'est-à-dire $\rho \in [0, 5]$ dB).

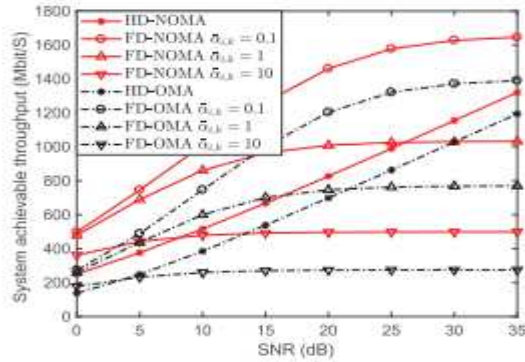


Figure 9. Comparaisons de débit réalisables par le système avec les systèmes FD-NOMA, NOMA, FD-OMA et HD-OMA dans un scénario suburbain et éloigné

En effet, dans un scénario de faible SNR, le bruit du canal est le facteur dominant par rapport à l'auto-interférence des FD. En revanche, l'auto-interférence FD-NOMA devient le facteur dominant dans le scénario de haut SNR, le schéma NOMA sans auto-interférence FD a donc une meilleure performance de débit. Il convient également de noter que le temps de transmission effectif est limité en raison des dispositifs V2X qui se déplacent rapidement. La transmission bidirectionnelle FD-NOMA permet de réduire considérablement la latence de transmission par rapport à d'autres systèmes. Par exemple, par rapport au HD-NOMA et au HD-OMA, le FD-NOMA n'a besoin que d'un demi temps de latence pour transmettre la même quantité de données grâce à son système de transmission et de réception simultanées.

5. CONCLUSIONS

En conclusion, nous avons proposé les systèmes V2X décentralisés basés sur le FD-NOMA. Nous avons classé les

communications V2X en deux scénarios types, à savoir le scénario urbain et surpeuplé ainsi que le scénario suburbain et distant, puis nous avons dérivé les expressions exactes de la capacité du système dans les deux scénarios. Afin de résoudre les calculs difficiles de l'expression de capacité dans les deux scénarios, nous avons obtenu leurs expressions approximatives simplifiées. Notre analyse a révélé que la précision de notre expression approximative simplifiée dans le scénario urbain et surpeuplé est déterminée par la division associée de $\frac{\pi}{2}$ (par rapport à la fonction intégrale exponentielle ($E_1(x)$)), et la précision de l'expression approximative simplifiée dans le scénario suburbain et éloigné est déterminée par le point de troncature T (par rapport à la fonction intégrale exponentielle généralisée ($E_n(x)$)). Les résultats numériques démontrent la validité et l'efficacité de nos résultats analytiques. Par rapport à la méthode MC, le temps consommé est fortement réduit par nos expressions d'approximation. Les résultats de simulation ont également démontré que la performance de la capacité du système peut être améliorée en augmentant le nombre de dispositifs V2X, la puissance NOMA et le facteur Rician (scénario suburbain et distant), et l'efficacité de la FD-NOMA est déterminée par l'auto-interférence de la FD et le bruit du canal. En outre, le FD-NOMA peut réduire

considérablement la latence du système par rapport à d'autres systèmes.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1]. N. Bhushan, Junyi Li, D. Malladi, R. Gilmore, D. Brenner, A. Damnjanovic, R. Sukhavasi, C. Patel, and S. Geirhofer. Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5g. *IEEE Communications Magazine*, February 2014
- [2]. S. Singh, H. S. Dhillon, and J. G. Andrews, «Offloading in heterogeneous networks: modeling, analysis and design insights, » *IEEE Trans. On Wireless Commun.*, vol. 12, no. 5, pp. 2484 – 2497, May 2013.
- [3]. T. Bai and R. W. Heath Jr., «Coverage and rate analysis for millimeter wave cellular networks, » *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, no. 2, pp. 1100–1114, Feb. 2015
- [4]. T. Bai, R. Vaze, and R. Heath, «Analysis of blockage effects on urban cellular networks, » *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 9, pp.5070–5083, Sept. 2014
- [5]. P. H. Gao, “Revisit of well function approximation and an easy graphical curve matching technique for Theis’ solution,” *Ground Water*, vol. 41, no. 3, pp. 387–390, Dec. 2005
- [6]. X. Yue, Y. Liu, S. Kang, A. Nallanathan, and Z. Ding, “Exploiting full/half-duplex user relaying in NOMA systems,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 66, no. 2, pp. 560–575, Feb. 2018.
- [7]. Y. Liu, M. ElKashlan, Z. Ding, and G. K. Karagiannidis, “Fairness of user clustering in MIMO non-orthogonal multiple access systems,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 7, pp. 1465–1468, Jul. 2016.
- [8]. H.-C. Yang and M.-S. Alouini, *Order statistics in wireless communications: Diversity, Adaptation, and Scheduling in MIMO and OFDM Systems*. New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2011.
- [9]. I. S. Gradshteyn, I. M. Ryzhik, and A. Jeffrey, *Table of Integrals, Series, and Products*. London, U.K.: Academic, 2015
- [10]. B. W. Khoueiry and M. R. Soleymani, “An efficient NOMA V2X communication scheme in the internet of vehicles,” in *Proc. IEEE 85th Veh. Technol. Conf.*, Jun. 2017, pp. 1–7.
- [11]. Y. Liu, Z. Ding, M. ElKashlan, and H. V. Poor, “Cooperative nonorthogonal multiple access with simultaneous wireless information and power transfer,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 4, pp. 938–953, Apr. 2016.
- [12]. R. J. C. Bultitude and G. K. Bedal, “Propagation characteristics on microcellular urban mobile radio channels at 910 MHz,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 7, no. 1, pp. 31–39, Jan. 1989.
- [13]. D. Zhang, Z. Zhou, S. Mumtaz, J. Rodriguez, and T. Sato, “One integrated energy efficiency proposal for 5G IoT communications,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 6, pp. 1346–1354, Dec. 2016.