



**République Algérienne Démocratique et
Populaire**



**Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique**

**Université Elchahid Hamma Lakhdar
El-Oued**

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Technologie

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes de Télécommunication

Thème

**Analyse des performances d'un système NOMA
coopératif**

Réalisé par :

GUERFI Manel et, SAOUDI Majda et OUCIF KHALED Radhia

Soutenu en juin 2021 devant le jury compose de:

Dr. Lkhder Nacerddin

Président

Dr. Ajgou Riad

Examineur

Dr. KHELIL Abdellatif

Directeur du mémoire

Année Universitaire : 2020/2021



Remerciement

Dieu soit loué, qui nous a éclairés sur le chemin de la connaissance et de la connaissance et nous a aidés à accomplir cette

Devoir et aide-nous à terminer ce travail

Nous sommes très reconnaissants à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin

Loin d'accomplir ce travail et de surmonter les difficultés que nous avons rencontrées, notamment

Nous nous souvenons de notre honorable professeur, Khalil Abdel Latif qui ne nous a pas lésiné avec ses précieux conseils et ses précieux conseils, qui nous ont aidés à mener à bien cette recherche.

Nous adressons également nos sincères remerciements au très estimé comité

Nous demandons à Dieu pour nous et vous succès et paiement et tous ceux qui ont fait face à son erreur envers la science et l'éducation.



Dédicace

Louange à Dieu, qui nous a guidés vers cela, et nous ne l'aurions pas atteint si Dieu nous avait donné la grâce

Je dédie cet humble travail à ma chère mère et mon cher père, que Dieu les protège

C'est à moi qui suis resté debout et a travaillé dur pour mon éducation pour terminer ce travail de près ou de loin

Et aux membres de ma famille, je suis mon soutien dans le monde et je peux leur compter une faveur

A tous mes proches et tous mes amis et proches sans exception

A mes chers professeurs et à tous les camarades de classe

Enfin, je demande à Dieu Tout-Puissant de faire de ce travail un bénéfice dont tous les étudiants en attente qui sont sur le point d'obtenir leur diplôme puissent bénéficier.

Manel et majda et radhia

Résumé

Dans ce mémoire, nous analysons les performances d'un système NOMA coopératif. Le principal avantage de ce travail est l'analyse des deux systèmes coopératifs NOMA DF / AF pour choisir le meilleur parmi eux. Nous analysons les performances de capacité et de probabilité de panne et voir l'impact des techniques DF et AF sur la liaison descendante NOMA. Nous utilisons Matlab pour simuler les résultats. Comme prévu, DF NOMA a surperformé AF NOMA en termes de capacité et de probabilité de panne. De plus, nous avons observé qu'AF NOMA a plus d'erreur et de bruit que DF NOMA. Finalement, nous avons conclu que DF NOMA est meilleur par rapport AF.

Mots-clés : Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA), coopératif, décodage et le transfert (DF), amplification et le transfert (AF), capacité, probabilité de panne.

ABSTRACT

In this thesis, we analyze the performance of a cooperative NOMA system. The main advantage of this work is the analysis of the two cooperative NOMA DF / AF systems to choose the best one among them. We analyze capacity performance and outage probability and see the impact of DF and AF techniques on the NOMA downlink. We use Matlab to simulate the results. As expected, DF NOMA outperformed AF NOMA in terms of capacity and outage probability. Additionally, we have observed that AF NOMA has more error and noise than DF NOMA. Finally, we concluded that DF NOMA is better compared to AF.

Key words: Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA), cooperative, Decode and Forward (DF), Amplify and Forward (AF), capacity, outage probability.

ملخص

في هذه المذكرة، نقوم بتحليل أداء نظام NOMA التعاوني. الميزة الرئيسية لهذا العمل هي تحليل نظامي NOMA DF و NOMA AF التعاوني لاختيار الأفضل بينهم. نقوم بتحليل أداء السعة واحتمالية الفشل ونرى تأثير تقنيات DF و AF على الوصلة الهابطة NOMA. نستخدم ماتلاب لمحاكاة النتائج. كما هو متوقع، تفوقت DF NOMA على AF NOMA من حيث السعة واحتمال الفشل. بالإضافة إلى ذلك، لاحظنا أن AF NOMA بها أخطاء وضوضاء أكثر من DF NOMA. أخيرًا، خلصنا إلى أن DF NOMA أفضل مقارنة بـ AF.

الكلمات المفتاحية: الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) التعاون، فك الشفرة، وإعادة التوجيه (DF) والتضخيم وإعادة التوجيه (AF)

Table Des Matières

Remerciement	i
Dédicace	ii
ABSTRACT.....	iii
ملخص	iii
Table Des Matières	iv
Liste des figures	vi
Liste des acronymes et symboles :	vii
Introduction générale	1

Chapitre I : Système NOMA

I-1 Introduction	4
I-2 NOMA liaison descendante	4
I-2-1 Transmission par superposition	4
I-2-2 Successive interférence cancellations (SIC).....	5
I-2-3 Capacité de la voie descendante	7
I-3 NOMA liaison montante.....	9
I-3-1 Modèle de la liaison montante	9
I-3-2 Capacité de la voie montante.....	10
I-4 Avantages et Inconvénients NOMA.....	12
I-5 Conclusion.....	14

Chapitre II : Système Coopératif NOMA

II-1 Introduction	16
II-2 Généralité de communications sans fil	16
II-2-1 Capacité du système.....	16
II-2-2 Probabilité de panne.....	17
II-3 Définition du système coopératif.....	17
II-4 Techniques des systèmes coopératifs.....	18
II-4-1 Décoder et transférer (DF)	18

II-4-1-1 Capacité du système.....	22
II-4-1-2 Probabilité de panne.....	22
II-4-2 Amplifier et transférer (AF)	23
II-4-2-1 Capacité du système.....	26
II-4-2-2 Probabilité de panne.....	26
II-5 Avantages et inconvénients	27
II-6 Conclusion	27

Chapitre III : Simulation et résultats

III-1 Introduction.....	29
III-2 Modèle de simulation	29
III-3 Simulations et résultats	30
III-3-1 Paramètres de simulation	30
III-3-1-1 Capacité de système	30
III-3-1-2 Probabilité de panne	34
III-4 Conclusion	38
Conclusion générale	39
Références.....	43

Liste des figures

Chapitre I : Système NOMA

Figure I. 1 Transmission de signaux dans NOMA pour deux utilisateurs.	5
Figure I. 2 Réception des signaux dans NOMA pour deux utilisateurs	7
Figure I. 3 Comparaison entre OMA et NOMA dans la voie descendante.....	9
Figure I. 4 Liaison montante du domaine de puissance NOMA.	10
Figure I. 5 La région de débit réalisable multi -utilisateurs pour la liaison montante NOMA avec un BS et deux utilisateurs. L'utilisateur 1 est l'utilisateur fort avec $ h_1 /2\sigma^2 = 100$, tandis que l'utilisateur 2 est l'utilisateur faible avec $ h_2 /2\sigma^2 = 10$	11

Chapitre II: Système Coopératif NOMA

Figure II. 1 Illustration de système coopératif NOMA à base de relais.	18
Figure II. 2 Illustration de schémas NOMA à base de relais DF	19
Figure II. 3 Illustration de NOMA à base de relais AF.	24

Chapitre III : Simulation et résultats

Figure III. 1 Modèle de système utilisé dans la simulation.....	29
Figure III. 2 Capacité des utilisateurs (U1 et U2) dans le système NOMA DF.	31
Figure III. 3 Capacité des utilisateurs (U1 et U2) dans le système NOMA AF.	32
Figure III. 4 Comparaison les capacités des deux utilisateurs de système coopératif NOMA DF/AF.....	33
Figure III. 5 Comparaison les capacités des systèmes coopératifs NOMA DF/AF	34
Figure III. 6 La probabilité de panne d'U1 et U2 de système coopératif NOMA DF.	35
Figure III. 7 La probabilité de panne d'U1 et U2 de système coopératif NOMA AF.	36
Figure III. 8 Comparaison entre les probabilités de panne des différents utilisateurs de NOMA DF et NOMA AF.	37
Figure III. 9 Comparaison entre les probabilités de panne de NOMA DF et NOMA AF.	37

Liste des acronyme et symboles :

1G : Première Génération

2G : Deuxième Génération

3G : Troisième Génération

4G : Quatrième Génération

5G : Cinquième Génération

5GC: 5G core

AF: amplify-and-forward

AWGN: Additive White Gaussian Noise

BC: broadcast channel

BS: Base Station

CDMA : Code Division Multiple Access

CSI: Channel State Information

dBm : Decibel Meter

DF: decode-and-forward

FDMA: Frequency Division Multiple Access

IoT: Internet of Things

MIMO: Multiple Input Multiple Output

NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal frequency division multiple access

OMA: Orthogonal multiple access

QoS: Quality of service

SC: Superposition Coding

SIC: Successive Interference Cancellation

SNR: Signal-to-Noise Ratio

TDMA: Time Division Multiple Access

UL: Uplink

Introduction générale

Introduction générale

La technologie sans fil 5G et au-delà se développe à un rythme explosif et constitue l'un des plus grands domaines de recherche au sein des universités et de l'industrie. Les technologies d'accès multiples ont été un moyen clé de distinguer différents systèmes sans fil de la première génération (1G) à la quatrième génération actuelle (4G). Par exemple, l'accès multiple par répartition en fréquence (FDMA) est utilisé pour 1G, l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) principalement pour la 2G, l'accès multiple par division de code (CDMA) pour la 3G et l'accès multiple par division de fréquence orthogonale (OFDMA) pour la 4G. La plupart d'entre eux sont des schémas à accès multiple orthogonal (OMA), différents utilisateurs se voient attribuer des ressources orthogonales, soit dans le temps, la fréquence ou le domaine de code, afin de réduire les interférences entre utilisateurs. De cette manière, le gain de multiplexage est obtenu avec une complexité raisonnable [1].

Les futurs réseaux d'accès radio 5G et au-delà doivent prendre en charge un débit très élevé, une latence ultra-faible, des connexions massives et des applications à très haute mobilité [2]. Pour satisfaire ces exigences, des technologies améliorées ou révolutionnaires sont nécessaires. Parmi les candidats potentiels, l'accès multiple non orthogonal (NOMA) est une technologie prometteuse qui peut augmenter le débit du système et servir simultanément des connexions massives [1]. NOMA peut transmettre des symboles superposés de plusieurs utilisateurs en fonction de différents niveaux de puissance dans le même intervalle de temps / fréquence. À la destination, l'annulation d'interférences successives (SIC) est utilisée pour décoder le signal NOMA multiplexé, où le signal avec le rapport signal / bruit (SNR) le plus élevé est d'abord décodé, puis SIC est appliqué pour détecter les signaux restants successivement [3].

De plus, pour améliorer la zone de couverture du réseau, la fiabilité et la vitesse de transmission, les systèmes de relais coopératifs améliorent les performances des systèmes NOMA [3]-[4]. Pour permettre la coopération, différentes technologies de relais sont utilisées, telles que le décodage et le transfert (DF), l'amplification et le transfert (AF) [5].

L'objectif de ce mémoire est d'analyser les performances d'un système NOMA coopératif. Pour atteindre cet objectif, le présent travail est réparti sur trois chapitres :

Le premier chapitre a pour objectif de présenter de façon générale le système dans la liaison descendante et dans la liaison montante.

Introduction générale

Le deuxième chapitre vise à présenter le système coopératif AF et DF ainsi que ces avantages and ces inconvénients.

Dans le dernier chapitre, nous présenterons une série de simulation des performances de système coopératif NOMA à base de DF et AF. Nous comparerons NOMA AF et DF en termes de probabilité de panne et de capacité. Et nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I :

Système NOMA

I-1 Introduction

L'accès multiple non orthogonal (NOMA) a récemment été considéré comme une technique clé pour la 5G et au-delà dans les futurs réseaux sans fil. Dans ce chapitre, nous introduisons le concept du NOMA en présentant le principe du système NOMA sur liaison descendante et liaison montante. Nous discutons les opérations clés SC et SIC. De plus, nous présentons une comparons entre NOMA et OMA. Enfin, nous présentons les avantages et les inconvénients de NOMA.

I-2 NOMA liaison descendante

I-2-1 Transmission par superposition

La transmission par superposition est une technique qui permet à un seul émetteur d'envoyer simultanément une combinaison de signaux indépendants à plusieurs utilisateurs. Le signal transmis après application des techniques de superposition pour utilisateurs serait aussi

$$X = \sum_{i=1}^n \sqrt{p_i} x_i \quad (I.1)$$

Avec

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (I.2)$$

Où x_i est le signal correspondant au message de l'utilisateur i , et p_i est la puissance allouée à l'utilisateur i . La différence entre les valeurs de p_i pour chaque utilisateur doit être suffisamment importante pour garantir un décodage réussi du signal superposé.

La figure I.1 illustre un exemple de transmission NOMA pour deux utilisateurs, U_1 et U_2 . Les messages M_1 et M_2 sont sélectionnés respectivement aux signaux x_1 et x_2 . Ces signaux sont ensuite mis à l'échelle en fonction des valeurs de p_1 et p_2 , et additionnés pour générer le signal superposé $X = \sqrt{p_1}x_1 + \sqrt{p_2}x_2$ qui est envoyé aux deux utilisateurs, avec

$p_1 + p_2 = 1$. Pendant la transmission, chaque signal est affecté par les conditions de canal de son récepteur [6].

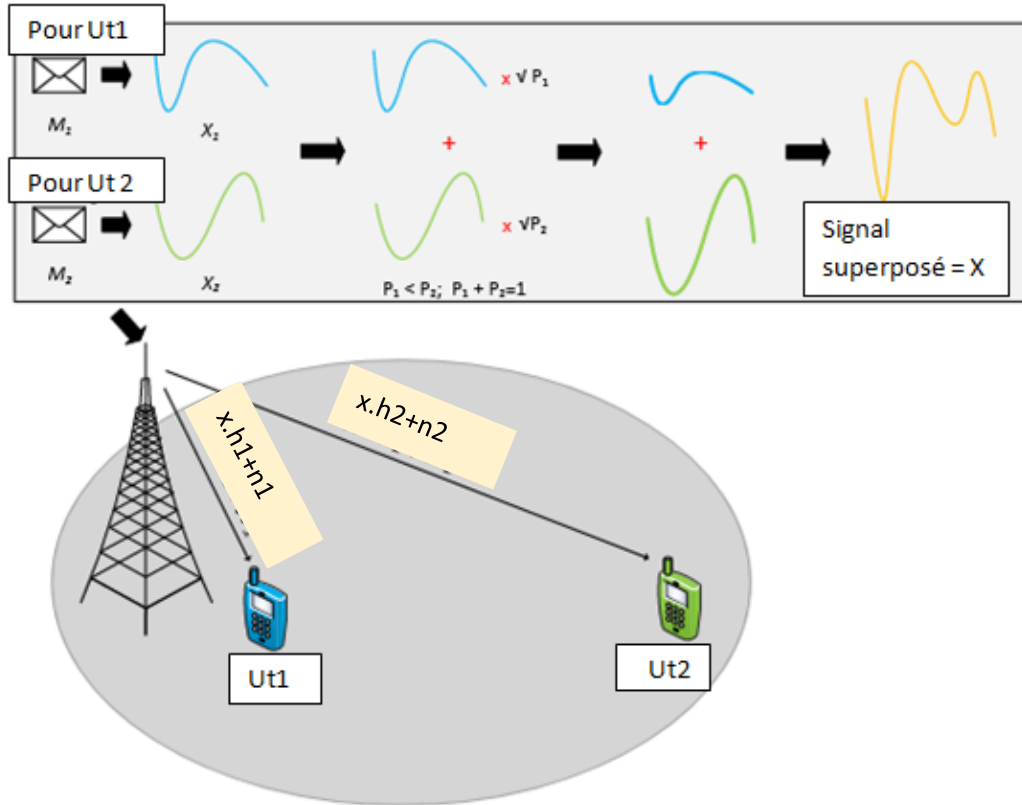


Figure I. 1 Transmission de signaux dans NOMA pour deux utilisateurs [6].

I-2-2 Successive interférence cancellations (SIC)

Le processus SIC est appliqué au récepteur NOMA afin que chaque utilisateur puisse extraire ses données respectives du signal de superposition reçu comme illustré à la figure I.2

Le signal reçu par l'utilisateur devrait être comme:

$$Y_i = h_i X + n_i \quad (I.3)$$

Où

h_i : Représente les coefficients de canal complexes entre U_i et BS

n_i : Représente le bruit gaussien plus l'interférence intercellulaire subie par U_i

Le mécanisme de SIC est que l'utilisateur avec les conditions de canal faibles traite le signal de l'utilisateur avec le meilleur canal comme du bruit et décode ses propres données à partir du signal reçu. D'autre part, l'utilisateur avec le meilleur canal exécute SIC, où il décode les données de l'utilisateur le plus faible, puis procède à la soustraction du signal reçu et décode ses propres données [7].

Dans le récepteur U_2 , le décodage se déroulera comme suit:

Le message M_2 est décodé à partir de Y_2 , traitant x_1 comme du bruit. L'interférence causée par U_1 sur U_2 ne devrait pas affecter de manière significative les performances de U_2 , car la puissance d'une telle interférence est susceptible d'être beaucoup plus petite que le signal souhaité. Ceci est valable tant qu'une allocation de puissance effective a été effectuée dans l'émetteur.

Pour U_1 , le processus de décodage est plus complexe et c'est ici que SIC est appliqué :

Le message M_2 est décodé à partir de Y_1 , traitant x_1 comme du bruit. Cette étape est possible du fait que le gain de canal de U_1 est supérieur à celui de U_2 , de sorte que tant que le taux de U_2 est dans les limites de Shannon de son récepteur, il sera également dans les limites du récepteur U_1 .

x_1 est régénéré à l'aide d'un encodeur, et avec la connaissance de h_1 et p_2 , $h_1\sqrt{p_2}x_2$ est soustrait de Y_1 , obtenant:

$$Y'_1 = Y_1 - h_1\sqrt{p_2}x_2 = h_1\sqrt{p_1}x_1 + n_i \quad (I.4)$$

Le message M_2 est décodé à partir de Y'_1 . La figure I.1 montre un exemple de réception de NOMA pour deux utilisateurs. A partir de la figure I.2, une fois le signal reçu, l'utilisateur éloigné, U_2 , décode simplement le signal fort, tandis que l'utilisateur proche, U_1 , applique SIC pour décoder son signal.

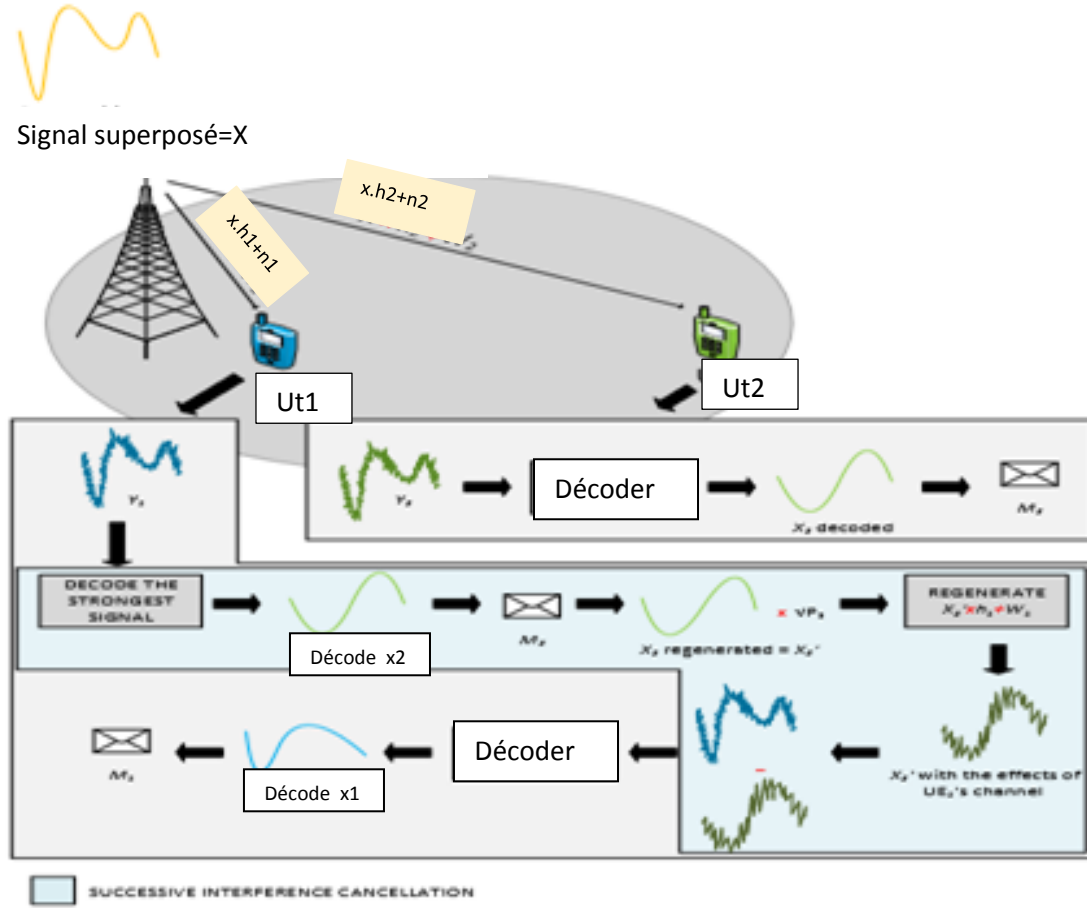


Figure I. 2 Réception des signaux dans NOMA pour deux utilisateurs [6].

I-2-3 Capacité de la voie descendante

Théoriquement, on sait que NOMA offre une région de plus grande capacité qu'OMA comme le montre la figure I.3; NOMA est donc très efficace pour augmenter la capacité du système lorsque la différence de gain de canal des utilisateurs multiplexés est grande. Cette différence se traduit par un gain de multiplexage. En supposant un décodage réussi et aucune propagation d'erreur, les débits de données avec NOMA pour U_1 et U_2 , peuvent être représentés par les équations (1.5) et (1.6), respectivement.

$$R_1 = B \log_2 \left(1 + \frac{p_1 |h_1|^2}{\sigma_1^2} \right) \quad (I.5)$$

$$R_2 = B \log_2 \left(1 + \frac{p_2 |h_2|^2}{p_1 |h_2|^2 + \sigma_2^2} \right) \quad (I.6)$$

B représente la bande passante disponible , à laquelle les deux utilisateurs ont accès en même temps; σ_i (*ou* $i = 1, 2$) est la densité spectrale de puissance de n_i . Comme les valeurs de R_1 et R_2 dépendent de rapport d'allocation de puissance p_1/p_2 , le gain de débit global de NOMA est étroitement lié au schéma d'allocation de puissance sélectionné. Pour la comparaison, les taux de transmission OMA pour U_1 et U_2 sont donnés par les équations (1.7) et (1.8), respectivement.

$$R_1 = \alpha \log_2 \left(1 + \frac{p_1 |h_1|^2}{\alpha \sigma_1^2} \right) \quad (I.7)$$

$$R_2 = (1 - \alpha) \log_2 \left(1 + \frac{p_2 |h_2|^2}{(1 - \alpha) \sigma_2^2} \right) \quad (I.8)$$

α Représente la bande passante attribuée à U_1 , la bande passante restante étant assigné à U_2 . La raison du gain de performance de NOMA est que l'effet du facteur multiplicatif (par exemple, α) en dehors du logarithme dans les expressions de taux OMA - qui reflète la répartition des ressources de bande passante entre les utilisateurs - est plus dommageable que les changements des facteurs à l'intérieur du logarithme dans les expressions de taux NOMA qui sont dus à l'allocation de puissance et à la bande passante supplémentaire.

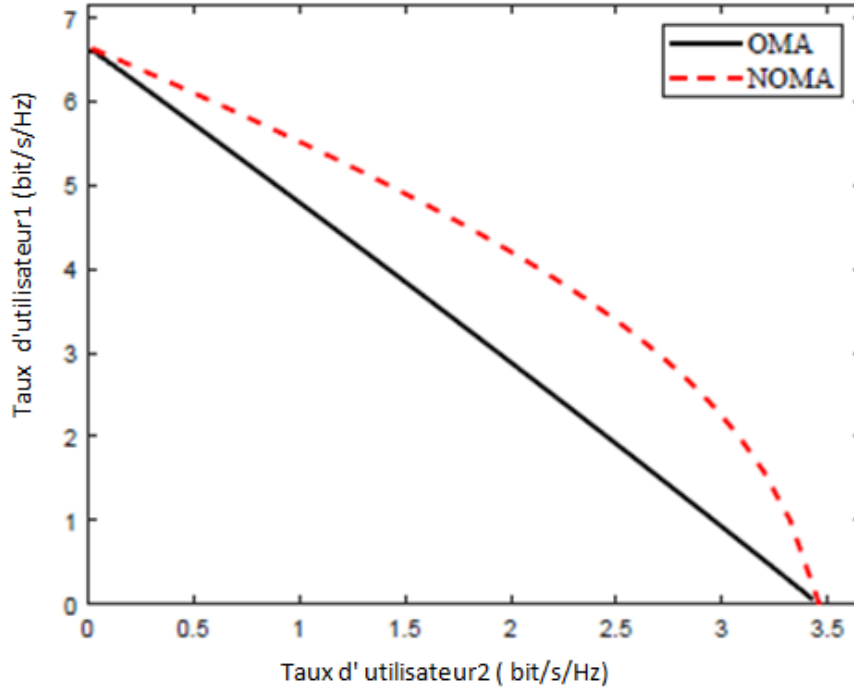


Figure I. 3 Comparaison entre OMA et NOMA dans la voie descendante [8].

La région de débit réalisable de la liaison descendante NOMA est illustrée sur la figure 1.3 en comparaison avec celle de l'OMA. En conséquence, NOMA offre une plus grande flexibilité dans l'allocation des ressources pour améliorer l'efficacité spectrale du système [8].

I-3 NOMA liaison montante

I-3-1 Modèle de la liaison montante

Dans le réseau de liaison montante NOMA, comme le montre la figure I.4, chaque signal de son de transmission mobile à la BS. Au BS, des itérations SIC sont effectuées pour détecter les signaux des utilisateurs mobiles. Les deux utilisateurs transmettent leurs messages dans la même bande de fréquences avec la même puissance d'émission p . Le signal reçu à la BS est donné par:

$$y = \sum_{i=1}^2 \sqrt{p_i} h_i x_i + n_i \quad (I.9)$$

Où P_i est la puissance d'émission pour l'utilisateur i , et n_i représente bruit blanc additive Gaussien (additive white gaussian noise : AWGN) [9].

Dans NOMA de liaison montante, le décodage SIC est effectué au niveau de la BS pour récupérer les messages M_1 et M_2 à partir du signal superposé Y . En particulier, la BS décode d'abord le message de l'utilisateur 1 puis soustrait M_1 du signal superposé Y . Ensuite, la BS peut décoder le message de l'utilisateur 2, M_2 .

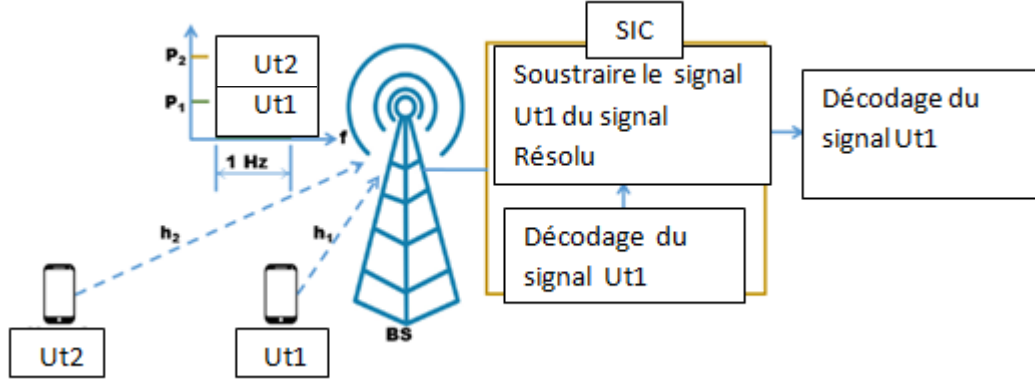


Figure I. 4 Liaison montante du domaine de puissance NOMA [8].

I-3-2 Capacité de la voie montante

La capacité de liaison montante peut être calculée de la même manière que pour la liaison descendante, bien que la formule soit un peu différente. En définissant P_1 et P_2 comme la puissance reçue au niveau de la BS pour UT1 et UT2, respectivement, le débit de chaque utilisateur en cas d'accès en liaison montante non orthogonale peut être écrit comme suit [7]:

$$R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{P_1 |h_1|^2}{P_2 |h_2|^2 \sigma_1^2} \right) \quad (I.10)$$

$$R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{P_2 |h_2|^2}{\sigma_2^2} \right) \quad (I.11)$$

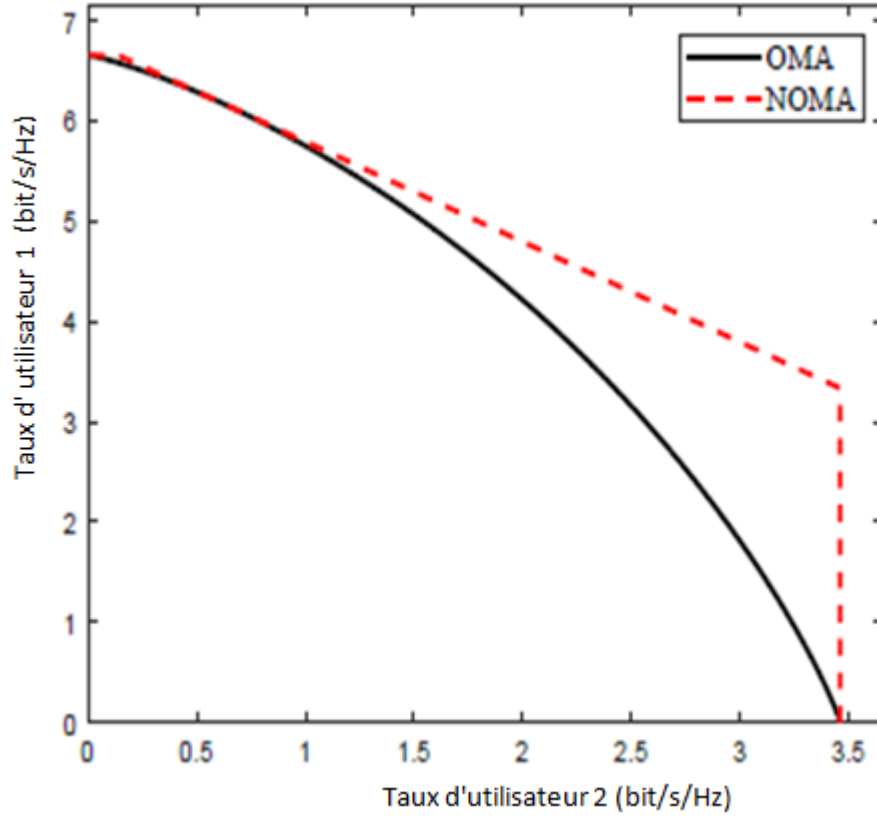


Figure I. 5 La région de débit réalisable multi -utilisateurs pour la liaison montante NOMA avec un BS et deux utilisateurs. L'utilisateur 1 est l'utilisateur fort avec $|h_1|/2\sigma^2 = 100$, tandis que l'utilisateur 2 est l'utilisateur faible avec $|h_2|/2\sigma^2 = 10$ [9].

On peut également montrer que NOMA de liaison montante est supérieur en termes de rapport de données réalisable et de capacité de somme en comparant avec l'homologue OMA dans figure I.5.

Contrairement à la liaison descendante NOMA, la liaison montante NOMA peut accueillir un nombre relativement important d'utilisateurs, car BS peut généralement être équipée de la puissance de calcul et de l'énergie nécessaires. De plus, BS peut appliquer des schémas de décodage plus intensifs en calcul pour réduire l'impact des interférences. Par conséquent, la liaison montante NOMA est préférable à la liaison descendante NOMA pour les communications massives de type machine [10].

I-4 Avantages et Inconvénients NOMA

A. Avantages NOMA :

1) **Efficacité de bande passante supérieure:** En exploitant le multiplexage de puissance, NOMA offre une efficacité spectrale élevée par rapport à ses technologies OMA homologues. Contrairement aux technologies OMA, NOMA a la capacité d'accueillir plus d'utilisateurs sur la même ressource fréquence / temps pour faire face à la surcharge du réseau [11].

2) **Équité utilisateur améliorée:** dans le multiplexage du domaine de puissance, NOMA attribue une puissance de transmission élevée aux utilisateurs avec des qualités de canal plus faibles, ce qui garantit l'équité de ces utilisateurs par rapport aux autres utilisateurs avec de meilleures qualités de canal. Cette caractéristique de NOMA peut être obtenue en allouant efficacement l'énergie à différents utilisateurs du réseau [12].

3) **Connectivité massive:** les futurs réseaux IoT 5G et B5G devraient connecter des milliards de nœuds IoT, ce qui ne peut être réalisé avec les technologies OMA existantes. NOMA peut accueillir un nombre important d'utilisateurs que l'OMA en utilisant efficacement les ressources de fréquence / temps existantes [13].

4) **Capacité élevée du système:** Il s'agit d'une autre caractéristique importante de la technologie NOMA. Il a été prouvé mathématiquement que les performances de capacité NOMA sont toujours meilleures que n'importe quel système OMA lorsqu'un schéma de gestion efficace des ressources est appliqué aux deux systèmes [14].

5) **Faible latence de transmission et coût de signalisation:** un utilisateur exploitant la technologie OMA a besoin d'une planification, avec BS pour une subvention qui entraîne un retard de transmission et un coût de signalisation élevés. La technologie NOMA, cependant, ne nécessite pas cette planification, ce qui peut réduire considérablement la signalisation supplémentaire et le retard de communication [15].

6) **Prise en charge de diverses exigences de qualité de service:** la technologie NOMA utilisant le multiplexage de puissance a la capacité de prendre en charge plusieurs utilisateurs sur la même ressource de fréquence / temps ayant les diverses demandes de qualité de service (QoS) [13]. Il s'agit donc de la technologie candidate clé pour les futurs réseaux IoT pour connecter un grand nombre de périphériques avec des exigences de QoS différentes.

7) **Robuste dans les scénarios de mobilité élevée:** dans les scénarios de mobilité élevée, l'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence (OFDMA), qui est l'une des

technologies clés OMA, fournit un gain très faible en raison d'informations obsolètes sur l'état des canaux (SCI). La technologie NOMA dépend principalement du CSI côté récepteur et peut donc fournir des gains significatifs dans les scénarios de mobilité élevée [16].

8) **Rentable:** la technologie NOMA ne nécessite pas d'antennes d'émission supplémentaires, ce qui est assez important du point de vue du coût et des limites d'espace des déploiements de petites cellules et de macro cellules dans les réseaux pratiques actuels [17].

B. Inconvénients NOMA:

1) **Frais généraux de retour d'informations sur l'état du canal (CSI):** Pour organiser un ordre approprié de décodage SIC, la technologie NOMA utilisant le multiplexage de puissance nécessite perfectissime, ce qui peut entraîner une surcharge supplémentaire sur le retour CSI [18].

2) **Complexité de calcul:** En raison du processus SIC Au niveau des récepteurs, la technologie NOMA introduit une complexité de calcul et un délai de traitement élevés par rapport aux technologies OMA conventionnelles. Cette complexité dépend généralement de la densité de l'utilisateur sur la même ressource de bande passante et peut être plus augmentée si le nombre élevé de périphériques partageant la même ressource de bande passante en même temps [19].

3) **Processus SIC réussi:** Le déploiement réussi de la technologie NOMA dépend du processus de décodage efficace de SIC au niveau des récepteurs. Pour que ce processus réussisse, un écart de puissance minimum reçu entre différents utilisateurs sur la même ressource de bande passante est obligatoire [20]. Cependant, la plupart des études théoriques sur la technologie NOMA ne garantissent pas cet écart.

4) **Surcharge de signalisation:** comparé aux technologies OMA conventionnelles, dans la technologie NOMA, un utilisateur fort doit connaître l'allocation de puissance d'un utilisateur faible pour effectuer un SIC, ce qui augmente la surcharge de signalisation [21].

5) **Interférence entre les cellules:** comme indiqué précédemment, NOMA attribue une puissance de transmission élevée à l'utilisateur faible, qui est généralement situé au bord de la cellule de la cellule. Cela peut introduire plus d'interférences intercellulaires dans l'ensemble du réseau [15].

I-5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la technique du NOMA et ses méthodes de travail, ainsi que la transmission dans la liaison montante et dans la liaison descendante. Nous avons également comparé le NOMA et l'OMA. La combinaison de NOMA avec les techniques coopératives est très importante pour satisfaire les exigences des utilisateurs dans les nouveaux et les futurs systèmes de télécommunications. Cette combinaison fait l'objectif du prochain chapitre.

Chapitre II :

Système Coopératif NOMA

II-1 Introduction

Le système coopératif est l'un des systèmes proposés pour améliorer les performances des systèmes et aider les utilisateurs qui souffrent d'une mauvaise qualité de service. Les utilisateurs sont assistés par le relais de l'assistant utilisateurs. Les relais utilisent une technique bien connue telle que AF ou DF pour délivrer des messages aux utilisateurs.

Dans ce chapitre, nous allons d'abord présenter les généralités de communications sans fil (Capacité du système et Probabilité de panne). Ensuite, nous présentons une définition du système coopératif, puis nous étudions les techniques de coopération AF et DF, et enfin, nous présentons certains avantages et inconvénients des techniques de coopération AF et DF.

II-2 Généralité de communications sans fil

II-2-1 Capacité du système

Dans cette section, nous étudions les limites fondamentales des canaux sans fil en termes de capacité de Shannon, c'est-à-dire le débit maximal pouvant être atteint entre l'émetteur et le récepteur avec de petites probabilités d'erreur arbitraires. La capacité du canal est souvent utilisée pour caractériser les limites d'un canal de communication.

Considérons un canal AWGN à entrée unique et sortie unique avec les relations d'entrée-sortie données par :

$$y = \sqrt{p_s} h x + n \quad (II. 1)$$

Où x est l'entrée de canal complexe avec une contrainte de puissance unitaire

$E[|x|^2] \leq 1$, p_s est la puissance d'émission employée par l'émetteur, et n est le bruit blanc Gaussien additif avec une moyenne nulle et une variance σ_n^2 vu au récepteur, et h est le coefficient de canal.

La capacité des canaux AWGN est donnée par [5]:

$$C_{AWGN} = \log_2(1 + SNR) \quad (II. 2)$$

Où

$$SNR = \frac{p_s |h|^2}{\sigma_n^2} \quad (II. 3)$$

II-2-2 Probabilité de panne

La probabilité de panne est une autre mesure de performance pour les techniques de communication dans les canaux à évanouissement. La panne est l'événement où le message ne peut pas être décodé de manière fiable au niveau du récepteur. D'un point de vue théorique de l'information, étant donné le débit de transmission R et la réalisation du canal h , nous disons qu'une panne se produit si la capacité du canal est inférieure au débit de transmission, c'est-à-dire, $\log_2(1 + SNIR) < R$. Par conséquent, la probabilité de coupure sous la réalisation du canal h peut être exprimée en fonction du débit de transmission comme indiqué ci-dessous [5]:

$$P_{out} = P(\log_2(1 + SNIR) < R) = P(SNIR < 2^R - 1) \quad (II. 4)$$

II-3 Définition du système coopératif

Les communications coopératives font référence à des systèmes ou des techniques qui permettent au relais d'aider à transmettre des messages aux utilisateurs qui souffrent d'une mauvaise qualité de service en raison de leur trop grande distance de la station de base, ou en fonction de leurs conditions de canal. La plupart des systèmes de transport coopératifs impliquent deux phases de transmission:

1- **Une phase de coordination:** Le relais reçoit les messages des utilisateurs de la station de base

2- **Une phase de coopération:** Le relais retransmet en coopération les messages aux utilisateurs, comme illustré sur la figure II.1

Pour permettre une telle coopération, différentes technologies de relais peuvent être utilisées en fonction de l'emplacement relatif de l'utilisateur, des conditions de canal et de la complexité de l'émetteur-récepteur. Dans notre étude, nous présentons deux techniques de base des relais coopératifs : le décodage et le transfert (DF), l'amplification et le transfert (AF) [5].

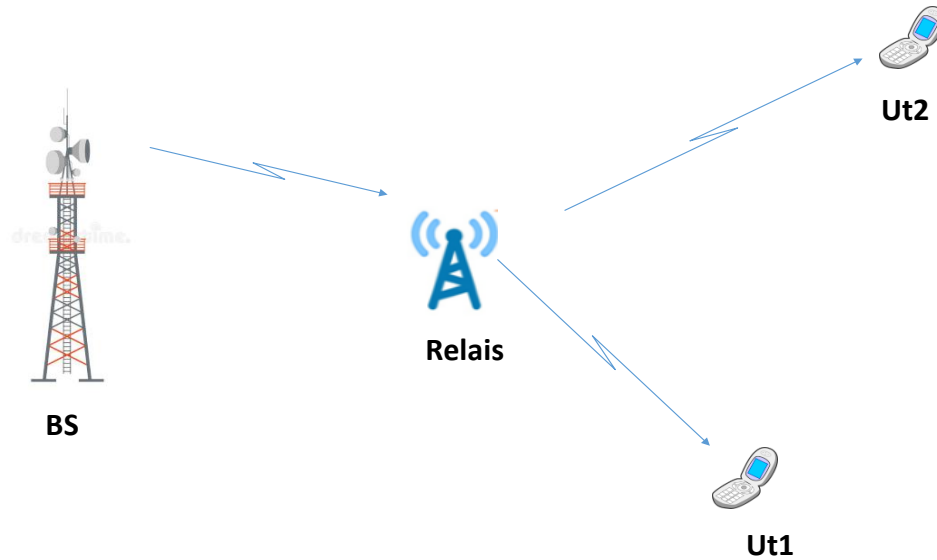


Figure II. 1 Illustration de système coopératif NOMA à base de relais.

II-4 Techniques des systèmes coopératifs

La communication coopérative utilise la nature de diffusion des médias sans fil. Dans la période de diffusion, le nœud voisin ou le nœud relais surprend les informations et les transmet aux utilisateurs [22].

En fonction de la manière dont le nœud de relais transmet les informations diffusées aux utilisateurs, divers protocoles de relais sont définis, tels que amplifier et transférer (AF) et décoder et transférer (DF), que nous présenterons dans cette sous-section [5].

II-4-1 Décoder et transférer (DF)

Le schéma de relais de décodage et de transfert (DF) se réfère aux cas où le relais décode le signal transmis par la station de base et le recode et le transmet aux utilisateurs, comme illustré à la figure II.2.

Dans le schéma de relais DF de base, la station de base transmet d'abord un signal de codage superposé (SC) au relais dans la phase I. Ensuite, si le relais est capable de décoder avec succès le signal SC, il recodera à nouveau le signal SC et le transmettra aux utilisateurs de la phase II.

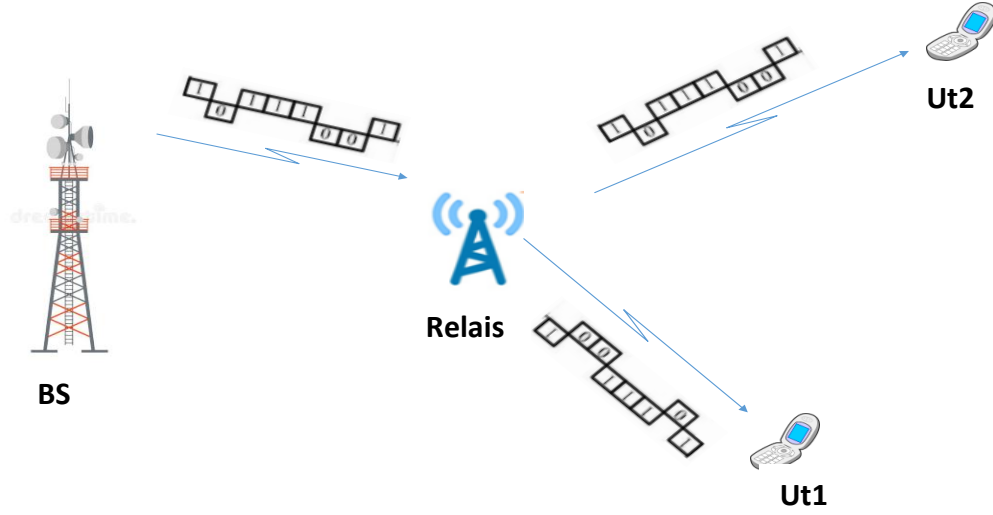


Figure II. 2 Illustration de schémas NOMA à base de relais DF

L'utilisateur 2 est loin du BS et l'utilisateur 1 est proche. Un message de codage superposé est envoyé, contenant les messages de l'utilisateur 1 et 2 avec une distribution de puissance différente en fonction de la qualité du canal [5]-[23]-[24].

Le signal SC envoyé au relais peut être exprimé comme suit:

$$x_{sc} = x_1\sqrt{p_1} + x_2\sqrt{p_2} \quad (II. 5)$$

Le signal reçu au relais est donné par :

$$y_r = h_r x_{sc} + n_r \quad (II. 6)$$

$$y_r = h_r (x_1\sqrt{p_1} + x_2\sqrt{p_2}) + n_r \quad (II. 7)$$

Où

$$p_1 = p_s \times \alpha_1$$

$$\alpha_2 = 1 - \alpha$$

$$p_2 = p_s \times \alpha_2$$

$$\alpha_1 = \alpha$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1$$

$$\alpha_2 > \alpha_1$$

p_1 : La puissance allouée au message d'utilisateur 1 au BS.

p_2 : La puissance allouée au message d'utilisateur 2 au BS.

α_2, α_1 : Facteurs de puissance d'utilisateurs 1 et 2, respectivement.

p_s : La puissance d'émission de la station de base (BS)

n_r : Le bruit blanc additif Gaussien (AWGN) au relais

x_1 et x_2 : Message d'utilisateurs 1 et 2, respectivement.

h_r : Les coefficients de canal BS – relais.

x_{sc} : Le signal de codage superposé

En relais, le SIC est utilisé pour identifier les messages des utilisateurs. L'utilisateur 2 est détecté en premier et le message de l'utilisateur 1 est perçu comme du bruit. Ensuite, le message de l'utilisateur 2 est soustrait du signal reçu pour spécifier le message de l'utilisateur 1 [5]-[23]-[24]-[25].

Le SINR des messages x_1 et x_2 dans le relais peut être écrit comme

$$SINR_R^{u_2} = \frac{p_2 |h_r|^2}{p_1 |h_r|^2 + \sigma_r^2} \quad (II. 8)$$

$$SINR_R^{u_1} = \frac{p_1 |h_r|^2}{\sigma_r^2} \quad (II. 9)$$

Dans le relais, le message de codage superposé est à nouveau envoyé avec une allocation de puissance différente aux utilisateurs [5]-[23]-[24]-[25]. Le signal envoyé à chaque utilisateur peut être exprimé sous la forme suivante :

$$x_{sc} = x_1 \sqrt{p_{u_1}} + x_2 \sqrt{p_{u_2}} \quad (II. 10)$$

Le signal reçu à chaque utilisateur est donné par :

$$y_i = h_i x_{sc} + n_i \quad (II. 11)$$

$$y_i = h_i (x_1 \sqrt{p_{u_1}} + x_2 \sqrt{p_{u_2}}) + n_i \quad (II. 12)$$

Où

$$i = u_1, u_2$$

$$p_{u_1} = p_r \times \beta_1 \quad \beta_2 = 1 - \alpha$$

$$p_{u_2} = p_r \times \beta_2 \quad \beta_1 = \alpha$$

$$\beta_1 + \beta_2 = 1 \quad \beta_2 > \beta_1$$

p_{u_1} : La puissance allouée au message d'utilisateur 1 au Relais.

p_{u_2} : La puissance allouée au message d'utilisateur 2 au Relais.

β_1, β_2 : Facteurs de puissance d'utilisateurs 1 et 2, respectivement.

P_r : La puissance d'émission de relais

n_i : Le bruit blanc additif Gaussien (AWGN) pour chaque utilisateur.

h_i : Les coefficients de canal Relais – utilisateur.

x_{sc} : Le signal de codage superposé.

L'utilisateur 2 reconnaît son message directement sans SIC. Le SNIR pour le signal reçu dans utilisateur 2 peut être écrit comme

$$SNIR_{DF,u_2} = \frac{p_{u_2} |h_{u_2}|^2}{p_{u_1} |h_{u_2}|^2 + \sigma_{u_2}^2} \quad (II. 13)$$

L'utilisateur 1 utilise le SIC. L'utilisateur 1 reconnaît d'abord le message de l'utilisateur 2, puis le soustrait du signal reçu total pour reconnaître son propre message. Le SNIR pour le signal reçu de l'utilisateur 1 peut être écrit comme :

$$SNIR_{DF,u_1}^2 = \frac{p_{u_2} |h_{u_1}|^2}{p_{u_1} |h_{u_1}|^2 + \sigma_{u_1}^2} \quad (II. 14)$$

$$SNIR_{DF,u_1} = \frac{p_{u_1} |h_{u_1}|^2}{\sigma_{u_1}^2} \quad (II. 15)$$

Où $\sigma_{u_1}^2, \sigma_{u_2}^2$ est la variance de chacun des nœuds

Le SNIR de bout en bout pour l'utilisateur 2 et l'utilisateur 1 peut être exprimé par [24]-[25] :

$$\gamma_2 = \min\{SNIR_R^{u_2}, SNIR_{u_2}\} \quad (II. 16)$$

$$\gamma_1 = \min\{SNIR_R^{u_1}, SNIR_{u_1}\} \quad (II. 17)$$

II-4-1-1 Capacité du système

Dans cette sous-section, nous exprimons la capacité du protocole DF-NOMA pour l'utilisateur 1 et l'utilisateur 2, respectivement.

La capacité du BS- relais -U2 peut être exprimée comme :

$$C_{DF,u_2} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_2) \quad (II. 18)$$

La capacité du BS- relais -U1 peut être exprimée comme :

$$C_{DF,u_1} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_1) \quad (II. 19)$$

II-4-1-2 Probabilité de panne

Dans cette sous-section, nous exprimons la probabilité de panne pour le protocole DF-NOMA pour l'utilisateur 1 et l'utilisateur 2, respectivement [5]-[24]-[25].

La panne se produit dans le chemin de BS- relais -U2 quand :

$$\frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_2) < R \quad (II. 20)$$

$$\gamma_2 < 2^{2R} - 1 \quad (II. 21)$$

Donc, la probabilité de panne de BS- relais -U2 est obtenue par :

$$P_{out,DF}^{u_2} = P\left(\frac{1}{2}\log_2(1 + \gamma_2) < R\right) = P(\gamma_2 < 2^{2R} - 1) \quad (II. 22)$$

La panne se produit dans le chemin de BS- relais -U1 quand :

$$\frac{1}{2}\log_2(1 + \gamma_1) < R \quad (II. 23)$$

$$\gamma_1 < 2^{2R} - 1 \quad (II. 24)$$

Donc, la probabilité de panne de BS- relais -U1 est obtenue par :

$$P_{out,DF}^{u_1} = P\left(\frac{1}{2}\log_2(1 + \gamma_1) < R\right) = P(\gamma_1 < 2^{2R} - 1) \quad (II. 25)$$

II-4-2 Amplifier et transférer (AF)

Dans les schémas de relais d'amplification et de transmission (AF), le relais amplifie le signal reçu de la BS et le transmet aux utilisateurs (sans décoder ou démoduler explicitement les messages ou les symboles) comme le montre la figure II.3. Ces schémas sont également appelés schémas de relais non régénératifs. Ici, les relais n'ont pas besoin de connaître les schémas de codage ou de modulation utilisés à la source. De plus, outre sa faible complexité, les schémas AF sont également souhaitables lorsque la qualité de la liaison BS-relais n'est pas suffisante pour garantir un décodage fiable au niveau du relais. Dans ce cas, l'amplification du signal analogique préserve les informations douces qui peuvent être davantage exploitées à la destination [5]-[26].

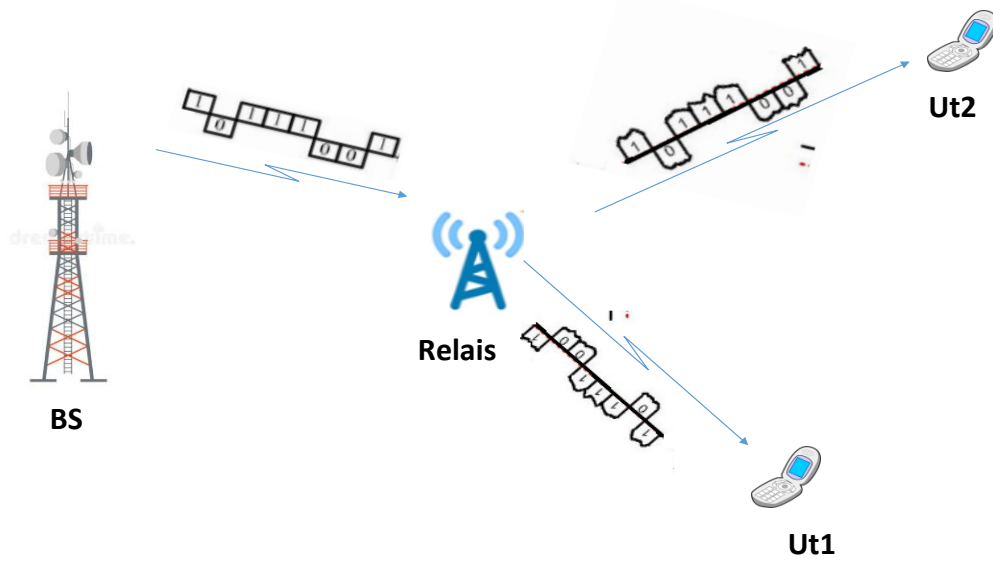


Figure II. 3 Illustration de NOMA à base de relais AF.

Dans la phase I, la station de base envoie le signal de codage superposé (SC) au relais. Le nœud relais AF amplifie le signal SC et le retransmet aux utilisateurs quelle que soit la qualité de la liaison BS-relais [5]-[26].

Le signal reçu au relais peut être exprimé sous la forme suivante :

$$y_r = h_r x_{sc} + n_r \quad (II. 26)$$

Avec :

$$x_{sc} = x_1 \sqrt{P_1} + x_2 \sqrt{P_2} \quad (II. 27)$$

$$y_r = h_r (x_1 \sqrt{P_1} + x_2 \sqrt{P_2}) + n_r \quad (II. 28)$$

Dans la phase II, le relais met d'abord à l'échelle le signal reçu. Si le gain instantané du canal $|h_r|^2$ est connu au niveau du relais, le relais peut multiplier le signal reçu par le gain β [5].

Sachant que :

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{p_s |h_r|^2 + \sigma_r^2}} \quad (II. 29)$$

Le signal amplifié au niveau de relais est donné par :

$$x_{sc,r} = \beta y_r \quad (II. 30)$$

$$x_{sc,r} = \beta [h_r (x_1 \sqrt{P_1} + x_2 \sqrt{P_2}) + n_r] \quad (II. 31)$$

Notez que le gain β dépend du canal BS-relais (h_r) et, par conséquent, varie selon les intervalles de transmission. Ainsi, ce schéma est souvent appelé schéma de relais AF à gain variable [24]. Ensuite, avec la puissance p_r , le relais transmet le signal $x_{sc,r}$ aux utilisateurs.

Le signal reçu à l'utilisateur U2 est le suivant:

$$y_{u2} = \beta \sqrt{P_r} h_2 [h_r (x_1 \sqrt{P_1} + x_2 \sqrt{P_2}) + n_r] + n_2 \quad (II. 32)$$

Le signal reçu à l'utilisateur U1 est donné par :

$$y_{u1} = \beta \sqrt{P_r} h_1 [h_r (x_1 \sqrt{P_1} + x_2 \sqrt{P_2}) + n_r] + n_1 \quad (II. 33)$$

L'utilisateur 2 détecte directement son message et considère le message de l'utilisateur 1 comme un bruit. Alors que l'utilisateur 1 utilise le SIC, il reconnaît d'abord le message de l'utilisateur 2, puis le soustrait du signal global pour extraire son message [24]-[26].

Le SNIR en U2 peut être exprimé par:

$$SNIR_{AF,u2} = \frac{\beta^2 p_2 p_r |h_r|^2 |h_{u2}|^2}{\beta^2 p_1 p_r |h_r|^2 |h_{u2}|^2 + \beta^2 p_r |h_{u2}|^2 \sigma_r^2 + \sigma_{u2}^2} \quad (II. 34)$$

U1 implémente SIC, et il reconnaît d'abord le signal U2, puis reconnaît son message spécial. Le SNIR de U1 à U2 peut être exprimé par:

$$SNIR_{AF,u1}^2 = \frac{\beta^2 p_2 p_r |h_r|^2 |h_{u1}|^2}{\beta^2 p_1 p_r |h_r|^2 |h_{u1}|^2 + \beta^2 p_r |h_{u1}|^2 \sigma_r^2 + \sigma_{u1}^2} \quad (II. 35)$$

Alors le SNIR de U1 est exprimé par:

$$SNIR_{AF,u1} = \frac{\beta^2 p_1 p_r |h_r|^2 |h_{u1}|^2}{\beta^2 p_r |h_{u1}|^2 \sigma_r^2 + \sigma_{u1}^2} \quad (II. 36)$$

II-4-2-1 Capacité du système

Dans cette sous-section, nous exprimons la capacité du protocole AF-NOMA pour l'utilisateur 1 et l'utilisateur 2, respectivement.

La capacité du BS- relais -U2 peut être exprimée par :

$$C_{AF,u_2} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNIR}_{AF,u_2}) \quad (\text{II. 37})$$

La capacité du BS- relais -U1 peut être exprimée comme

$$C_{AF,u_1} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNIR}_{AF,u_1}) \quad (\text{II. 38})$$

II-4-2-2 Probabilité de panne

Dans cette sous-section, nous exprimons la probabilité de panne pour le protocole AF-NOMA pour l'utilisateur 1 et l'utilisateur 2, respectivement.

La panne se produit dans le chemin BS- relais -U2 quand :

$$\frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNIR}_{AF,u_2}) < R \quad (\text{II. 39})$$

$$\text{SNIR}_{AF,u_2} < 2^{2R} - 1 \quad (\text{II. 40})$$

Ainsi, la probabilité de panne dans le chemin BS- relais -U2 est obtenue

$$P_{out,AF}^{u_2} = P\left(\frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNIR}_{AF,u_2}) < R\right) = P(\text{SNIR}_{AF,u_2} < 2^{2R} - 1) \quad (\text{II. 41})$$

La panne se produit dans le chemin BS- relais -U1 quand :

$$\frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNIR}_{AF,u_1}) < R \quad (\text{II. 42})$$

$$\text{SNIR}_{AF,u_1} < 2^{2R} - 1 \quad (\text{II. 43})$$

Ainsi, la probabilité de panne dans le chemin BS- relais -U1 est obtenue

$$P_{out,AF}^{u_1} = P\left(\frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNIR}_{AF,u_1}) < R\right) = P(\text{SNIR}_{AF,u_1} < 2^{2R} - 1) \quad (II. 44)$$

II-5 Avantages et inconvénients

Dans cette section, nous présentons quelques avantages et inconvénients de l'AF et du DF.

- DF peut limiter la propagation des erreurs. Mais des erreurs de décodage peuvent survenir. Lorsque le canal source-relais est de mauvaise qualité, une erreur de décodage peut se produire, ce qui limite les performances du système. Le temps de décodage a également un effet sur les performances du système [22].
- Les principales limitations associées à l'amplification et au relais direct sont la propagation des erreurs. C'est-à-dire que le nœud de relais reçoit une version bruyante de la transmission source, lorsque le relais amplifie le signal, le bruit est également amplifié [22].

II-6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié le fonctionnement du système coopératif NOMA. Nous avons également examiné certaines techniques de coopération comme AF et DF et les différences entre elles. Dans le cas DF, le relais déchiffre les messages et les recrypte à nouveau et les envoie aux utilisateurs. Alors qu'avec AF, les relais ne décodent pas les messages, mais le signal est amplifié, en le multipliant par le facteur de gain du canal, puis transmis par sa puissance. Dans le prochain chapitre, nous analyserons les performances de système coopératif NOMA basé sur AF et DF.

Chapitre III :

Simulation de résultats

III-1 Introduction

L'avantage de la communication coopérative réside dans l'établissement de deux liens pour transmettre le même message. Même si un lien est en panne, il y a de fortes chances que l'autre lien soit bon. La probabilité que les deux liaisons tombent simultanément en panne est très inférieure à la probabilité qu'une liaison tombe en panne. Dans ce chapitre, nous présentons une comparaison par simulation des performances de système coopératif NOMA à base de DF et AF en termes de capacité et de probabilité de panne.

III-2 Modèle de simulation

Nous considérons une liaison descendante d'un système coopératif NOMA. Ce dernier a une station de base (BS), un relais (R) et deux utilisateurs 1 (U1) et 2 (U2). L'utilisateur 2 est éloigné et l'utilisateur 1 est proche de la BS. De plus, nous supposons que les utilisateurs sont à l'extérieur de la cellule et ne peuvent pas recevoir le signal de la BS. Ainsi, le relais aidera les deux utilisateurs à recevoir leurs messages (figure III.1).

Dans la première phase, la station de base émet un signal de codage superposé (SC) avec une distribution différente des paramètres de puissance en fonction de la qualité de canal de chaque utilisateur. Le relais reçoit un signal envoyé par la station de base et utilise l'une des techniques de coopération DF ou AF pour transmettre le signal aux utilisateurs dans la deuxième phase.

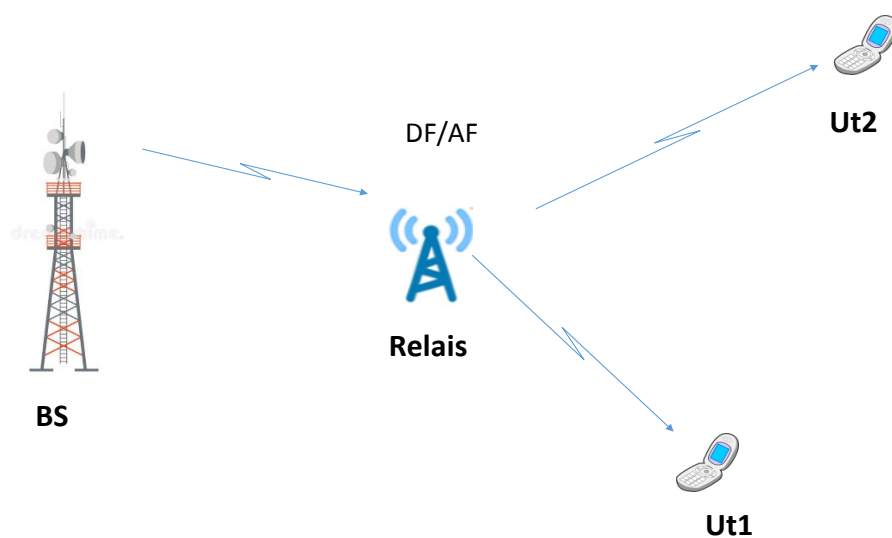


Figure III. 1 Modèle de système utilisé dans la simulation.

III-3 Simulations et résultats

Dans cette section, nous effectuons une série de simulation des performances de système coopératif NOMA en termes de capacité et de probabilité de panne. Les deux protocoles AF et DF sont utilisés ainsi que les paramètres de simulation de la sous section suivante.

III-3-1 Paramètres de simulation

Dans les simulations, nous utilisons les paramètres suivants :

Paramètres	Valeurs
Distance entre BS et utilisateur 1	1 m
Distance entre BS et utilisateur 2	2 m
Exposant de perte de chemin	4
SNR dBm	0:5:40
Facteur d'allocation de puissance de l'utilisateur 1	$\alpha_1=0.25$
Facteur d'allocation de puissance de l'utilisateur 2	$\alpha_2=0.75$
Taux de transmission	$R = 1$ bps/Hz
Canal	Rayleigh

Table III. 1 Paramètres de simulation.

III-3-1-1 Capacité de système

Dans cette sous-section, nous effectuons la simulation et la comparaison entre les capacités de NOMA DF et NOMA AF.

III-3-1-1-1 Capacité NOMA DF

La capacité de l'utilisateur loin U2 est donnée par :

$$C_{DF,U2} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_2) \quad (III. 1)$$

La capacité de l'utilisateur proche U1 est donnée par :

$$C_{DF,U1} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_1) \quad (III. 2)$$

La figure III.2 présente la capacité des deux utilisateurs de système coopératif NOMA DF en fonction de SNR. On note que la capacité de l'utilisateur 2 augmente puis se stabilise à une valeur de SNR = 35 dBm, tandis que la capacité de l'utilisateur 1 augmente continuellement au fur et à mesure que le SNR émis augmente. On remarque aussi que la capacité de l'utilisateur 1 est supérieure à la capacité de l'utilisateur 2.

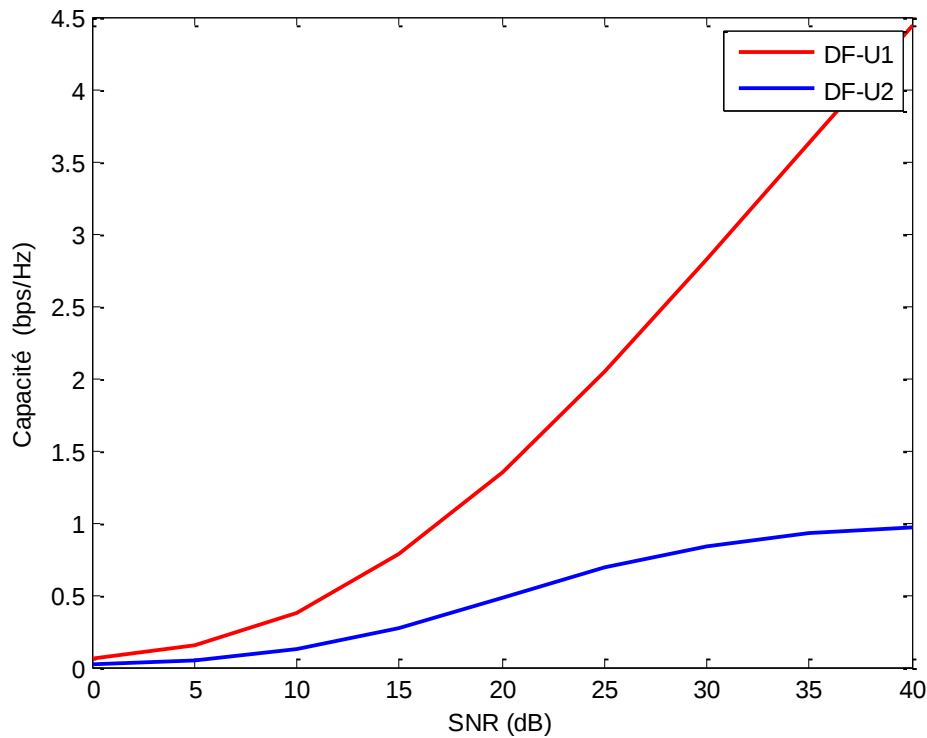


Figure III. 2 Capacité des utilisateurs (U1 et U2) dans le système NOMA DF.

III-3-1-1-2 Capacité NOMA AF

Dans le cas d'AF, La capacité de l'utilisateur loin U2 peut être exprimée comme

$$C_{AF,u_2} = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNIR_{AF,u_2}) \quad (III. 3)$$

La capacité de l'utilisateur loin U2 peut être exprimée comme

$$C_{AF,u_1} = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNIR_{AF,u_1}) \quad (III. 4)$$

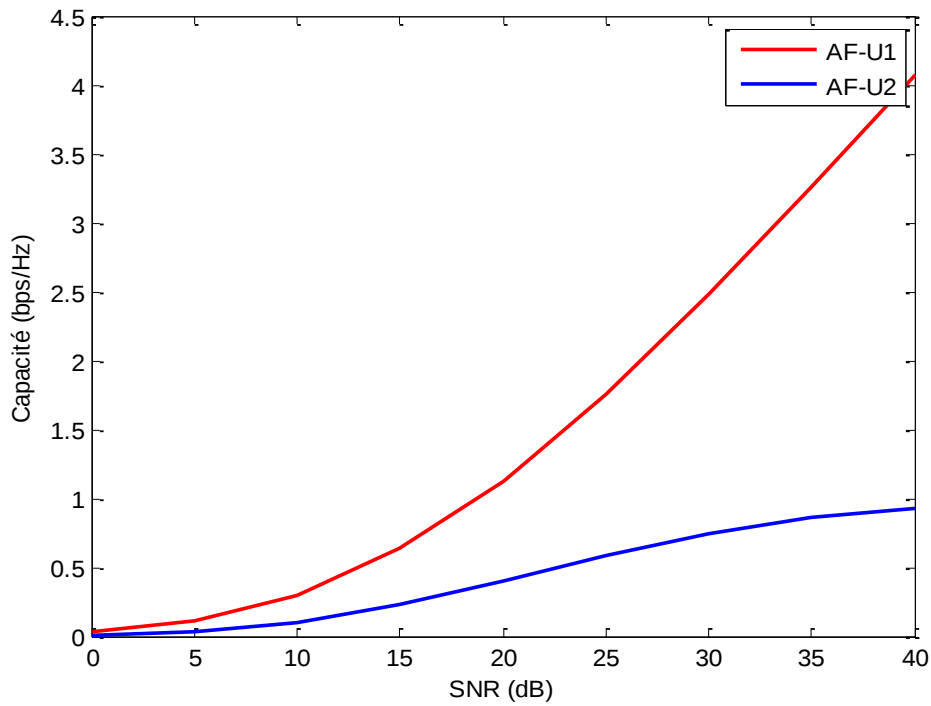


Figure III. 3 Capacité des utilisateurs (U1 et U2) dans le système NOMA AF.

La figure III.3 présente la capacité des deux utilisateurs de système coopératif NOMA AF en fonction de SNR. On voit que la capacité de l'utilisateur 2 augmente puis se stabilise à une valeur de SNR = 40 dBm, tandis que la capacité de l'utilisateur 1 augmente continuellement au fur et à mesure que le SNR émis augmente. On constate aussi que la capacité de l'utilisateur 1 est supérieure à la capacité de l'utilisateur 2.

III-3-1-1-3 Comparaison entre les capacités NOMA DF et NOMA AF

La capacité du système NOMA DF est calculée par

$$Somme_{DF} = C_{DF,U1} + C_{DF,U2} \quad (III.5)$$

La capacité du système NOMA AF est calculée par

$$Somme_{AF} = C_{AF,U1} + C_{AF,U2} \quad (III. 6)$$

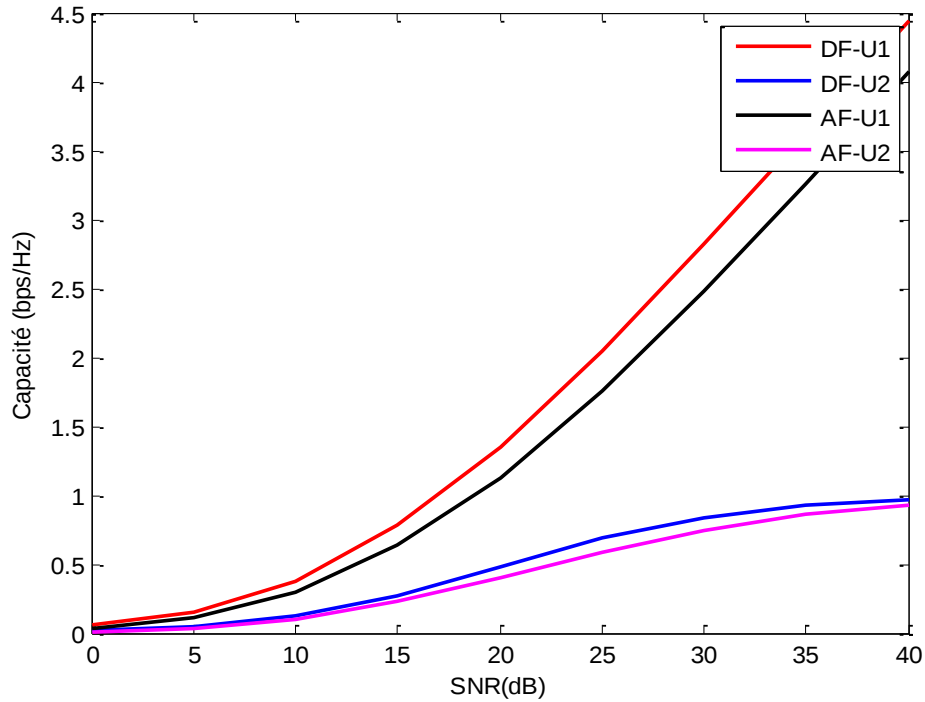


Figure III. 4 Comparaison les capacités des deux utilisateurs de système coopératif NOMA DF/AF

La figure III.4 présente une comparaison entre les capacités des deux utilisateurs de système coopératif NOMA AF et NOMA DF en fonction de SNR. Les résultats montrent que la capacité de l'utilisateur 2 dans le DF est relativement supérieure à celle de l'utilisateur 2 dans la condition AF. Aussi, nous notons que la capacité de l'utilisateur 1 en DF est supérieure à celle de l'utilisateur 1 dans le cas AF.

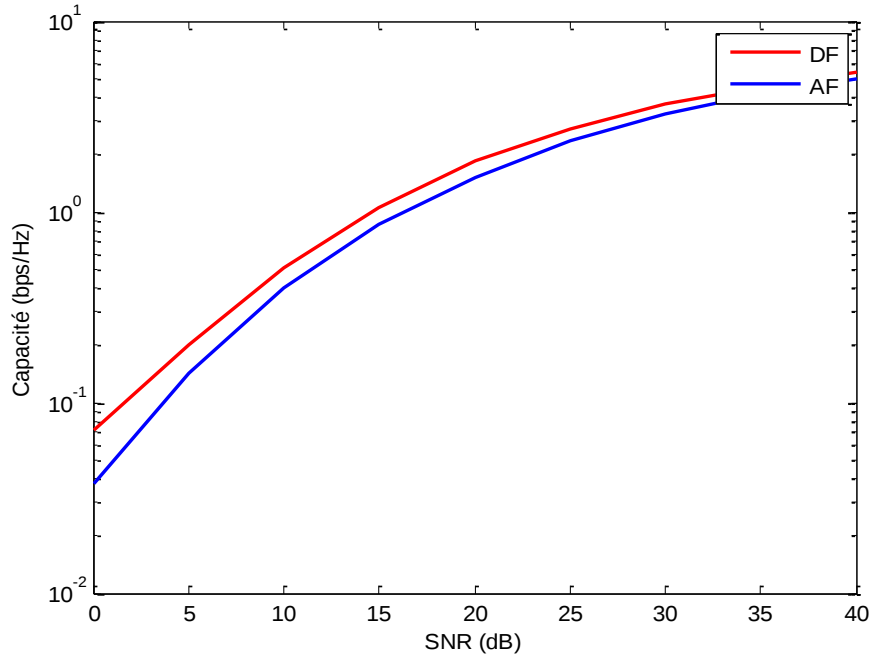


Figure III. 5 Comparaison les capacités des systèmes coopératifs NOMA DF/AF

La figure III.5 présente une comparaison entre les capacités des systèmes coopératifs NOMA AF et NOMA DF en fonction de SNR. Les résultats montrent que l'efficacité de DF est supérieure à AF. En effet, le coopératif AF fait beaucoup de bruit en amplifiant le signal provenant de la BS avec son propre bruit et en envoyant aux utilisateurs avec l'énergie de relais.

III-3-1-2 Probabilité de panne

Dans cette sous-section, nous effectuons une simulation de probabilité de panne des deux modèles DF/AF puis faisons une comparaison entre eux.

III-3-1-2-1 Probabilité de panne NOMA DF

La panne se produit lorsque la capacité du canal est inférieure au débit (R) de transmission pour l'utilisateur 1 ou 2, c'est-à-dire

$$\frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_1) < R \quad (III.7)$$

$$\frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_2) < R \quad (III.8)$$

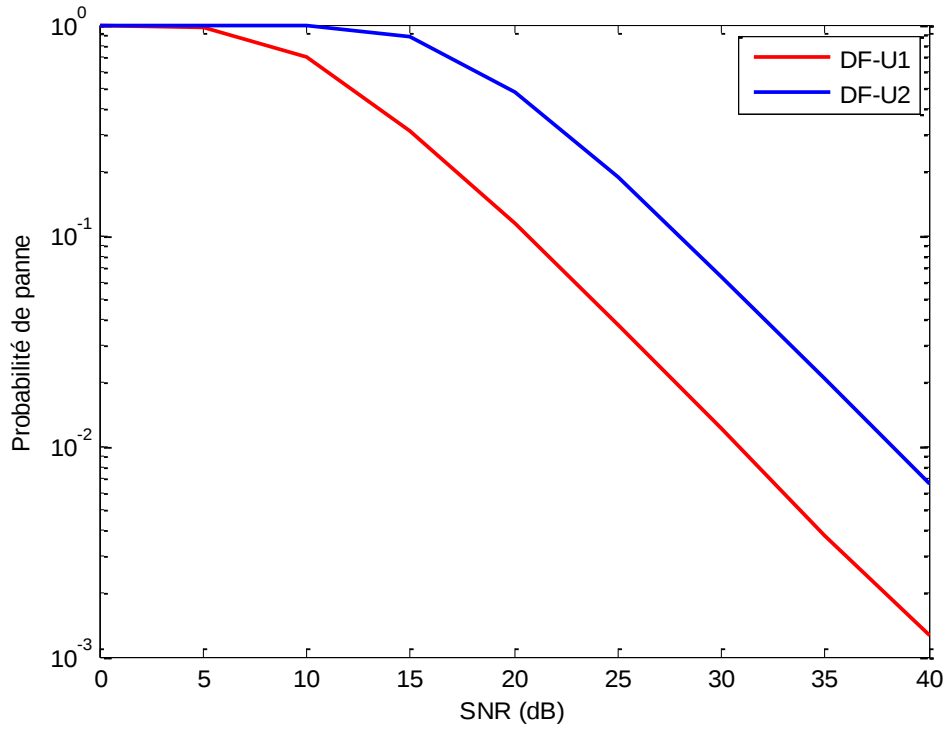


Figure III. 6 La probabilité de panne d'U1 et U2 de système coopératif NOMA DF.

La figure III.6 présente la probabilité de panne des utilisateurs U1 et U2 de système coopératif NOMA DF en fonction de SNR. On remarque que plus le SNR augmente, plus la probabilité de panne diminue. De plus, la probabilité de panne pour l'utilisateur proche 1 est meilleure que celle de l'utilisateur 2.

III-3-1-2-2 Probabilité de panne NOMA AF

De même que la sous-section précédente, la panne se produit lorsque la capacité du canal est inférieure au débit de transmission

$$\frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNIR}_{AF,u2}) < R \quad (\text{III. 9})$$

$$\frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNIR}_{AF,u1}) < R \quad (\text{III.10})$$

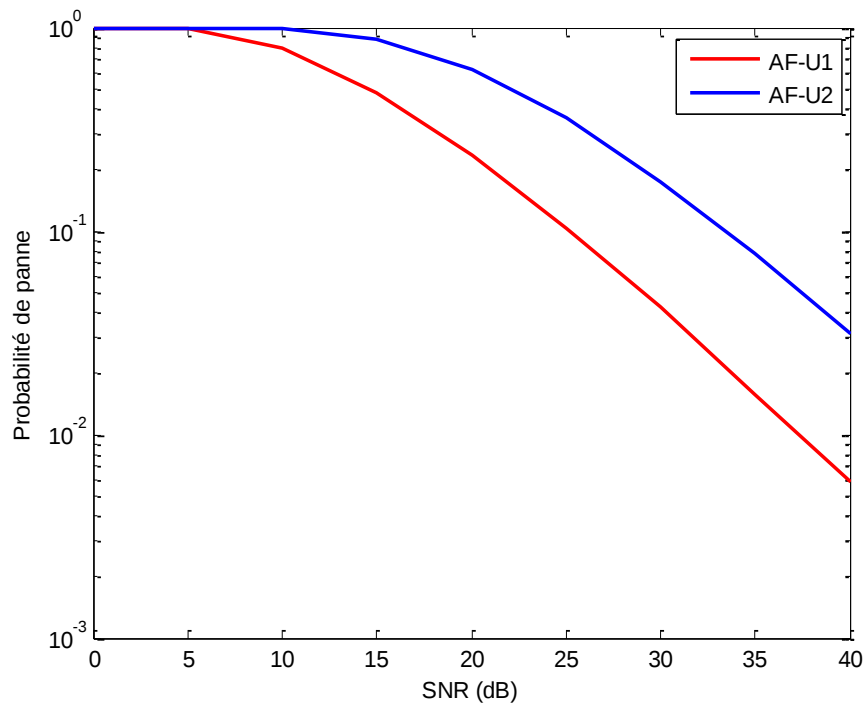


Figure III. 7 La probabilité de panne d'U1 et U2 de système coopératif NOMA AF.

La figure III.7 présente la probabilité de panne des utilisateurs U1 et U2 de système coopératif NOMA AF en fonction de SNR. On remarque que plus le SNR augmente, plus la probabilité de panne diminue. De plus, la probabilité de panne pour l'utilisateur loin U2 est plus élevée que celle de l'utilisateur proche U1.

III-3-1-2-3 Comparaison entre les probabilités de panne NOMA AF et NOMA DF

La figure III.8 présente une comparaison entre les probabilités de panne NOMA DF et NOMA AF des deux utilisateurs en fonction de SNR. Les résultats montrent que la probabilité de panne de l'utilisateur 1 DF est faible par rapport à l'utilisateur 1 AF. Aussi, nous notons que la probabilité de panne de l'utilisateur 2 AF est supérieure à la probabilité de l'utilisateur 2 DF.

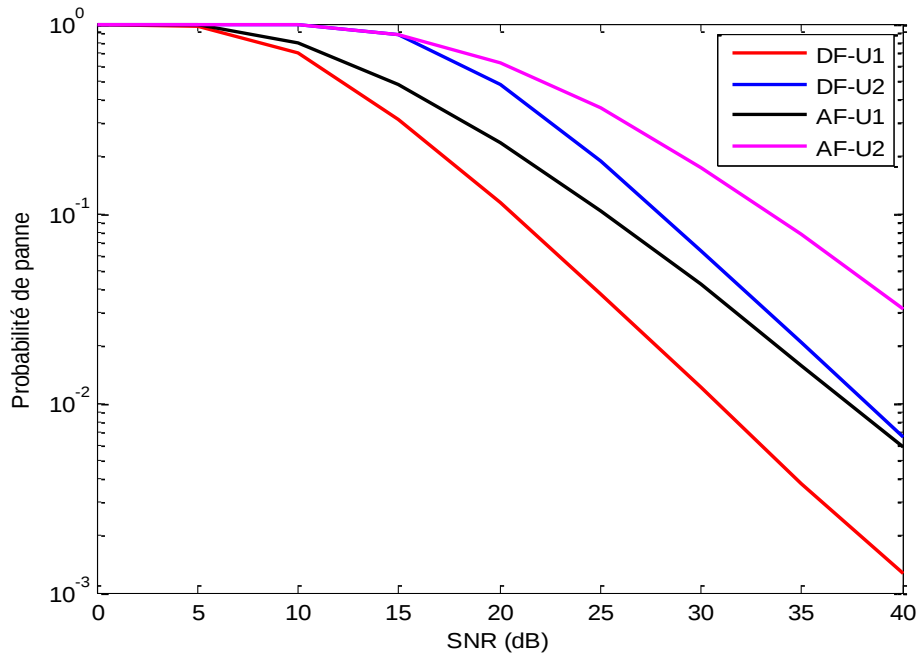


Figure III. 8 Comparaison entre les probabilités de panne des différents utilisateurs de NOMA DF et NOMA AF.

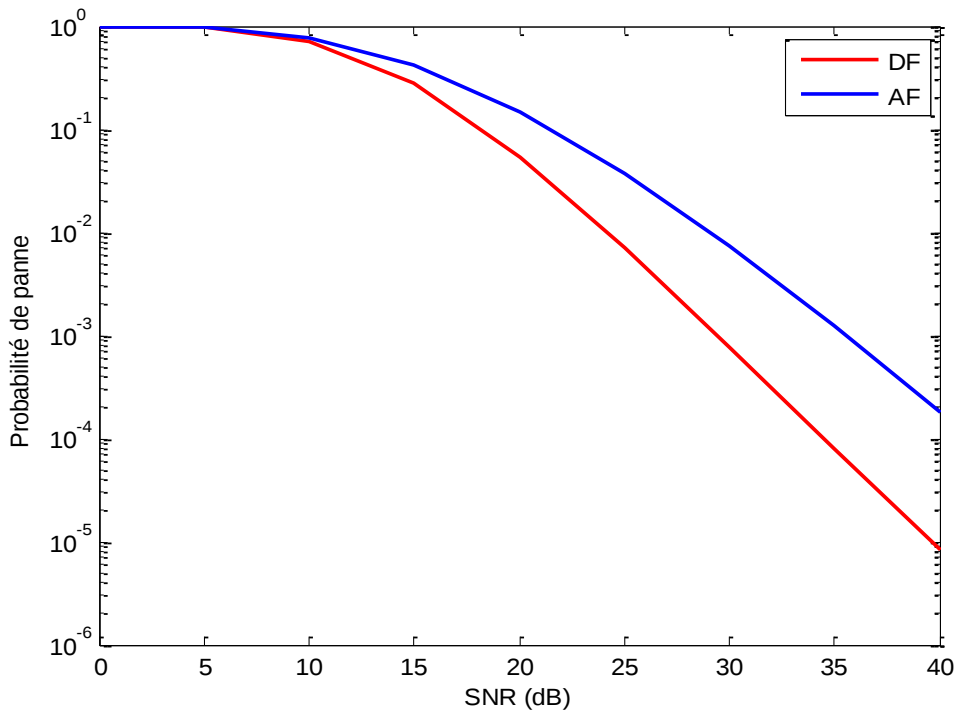


Figure III. 9 Comparaison entre les probabilités de panne de NOMA DF et NOMA AF.

La figure 3.9 présente une comparaison entre les probabilités de panne des systèmes NOMA DF et NOMA AF. Les résultats montrent que la probabilité de panne de NOMA DF

est meilleure que celle de NOMA AF car AF provoque beaucoup de bruit lors de la transmission de message aux utilisateurs dans la deuxième étape.

III-4 Conclusion

Le système NOMA est combiné dans la littérature avec les techniques coopératives AF et DF. Le but est d'optimiser les performances de la communication et de satisfaire les exigences des utilisateurs. Dans ce chapitre nous avons examiné par simulation la combinaison NOMA DF comparée avec NOMA AF. Les résultats obtenus lors de cette simulation ont montré que les performances de NOMA DF surmontent celles de NOMA AF en termes de capacité et de probabilité de panne. Cela est dû au fait que l'AF NOMA transmet beaucoup de bruit dans la deuxième étape. Par conséquent, cette combinaison peut être jouer un rôle très important dans les réseaux de future génération.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Les schémas NOMA peuvent être classés en deux catégories, à savoir, NOMA du domaine de puissance et NOMA du domaine de code. Dans ce mémoire, nous nous sommes concentrés sur NOMA du domaine de puissance. NOMA est une technologie d'accès multiple révolutionnaire pour améliorer l'efficacité du spectre, la capacité d'accès des utilisateurs et l'équité des utilisateurs. Par rapport à la technologie d'accès multiple orthogonal (OMA) précédente, c'est-à-dire l'accès multiple par répartition dans le temps et l'accès multiple par répartition en fréquence, la caractéristique clé de NOMA est que les signaux multi-utilisateurs sont multiplexés dans les mêmes ressources temps-fréquence-code avec des facteurs de puissance différents. Le codage par superposition et l'annulation successive des interférences (SIC) ont été utilisés respectivement au niveau de l'émetteur et des récepteurs.

Le système NOMA est combiné dans la littérature avec plusieurs techniques et schémas, comme les techniques MIMO et coopératives. Le but est d'optimiser les performances de la communication et de satisfaire les exigences des utilisateurs. Pour améliorer la zone de couverture du réseau, la fiabilité et la vitesse de transmission, les systèmes de relais coopératifs sont utilisés. Pour permettre la coopération, différentes technologies de relais sont utilisées, telles que le décodage et le transfert (DF) et l'amplification et le transfert (AF).

L'objectif de ce mémoire est d'analyser par comparaison les performances de NOMA DF et NOMA AF en termes de capacité et de probabilité de panne.

Dans ce mémoire nous avons présenté au début une étude de la technologie NOMA et de ses concepts en liaison montante et descendante. Nous avons également présenté la comparaison de NOMA avec OMA. De plus, nous avons étudié le NOMA coopératif, son fonctionnement, ainsi que certaines techniques coopératives telles qu'AF et DF et leurs différences. Dans le cas de DF, le relais décode les messages, les recode et les envoie aux utilisateurs, tandis qu'en AF les relais ne décodent pas les messages, mais le signal est amplifié et multiplié par le facteur de gain du canal puis transmis par sa puissance. Finalement, nous avons analysé les performances du système NOMA coopératif basé sur AF et DF. L'objectif est d'analyser et de comparer les performances des systèmes NOMA AF et DF en termes de capacité et de probabilité de panne. Les résultats obtenus lors de cette analyse et simulation ont montré que les performances du NOMA DF dépassent celles du

Conclusion générale

NOMA AF en termes de capacité et de probabilité de panne. Cela est dû au fait qu'AF NOMA transmet beaucoup de bruit dans la deuxième étape. Par conséquent, nous concluons que NOMA DF est meilleur par rapport NOMA AF.

Références

Références

- [1] I. F. Fa-Long Luo, Ph.D. and I. F. Charlie (Jianzhong) Zhang, Ph.D., *Signal Processing for 5G*, First edit. John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
- [2] F. Kara and H. Kaya, “BER performances of downlink and uplink NOMA in the presence of SIC errors over fading channels,” *IET Commun.*, vol. 12, no. 15, pp. 1834–1844, 2018, doi: 10.1049/iet-com.2018.5278.
- [3] F. Kara, “On the outage performance of SWIPT-NOMA-CRS with imperfect SIC and CSI,” *arXiv*, pp. 1–16, 2020, doi: 10.3906/elk-2005-155.
- [4] Y. Zhang, Z. Yang, Y. Feng, and S. Yan, “Performance Analysis of Cooperative Relaying Systems with Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access,” *IEEE Access*, vol. 6, no. c, pp. 39839–39848, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2854774.
- [5] W.-J. H. and C.-C. J. K. Y.-W. Peter Hong, *Cooperative Communications and Networking Technologies and System Design*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [6] A. Marcano, “Capacity Dimensioning for 5G Mobile Heterogeneous Networks,” p. 147, 2018, [Online]. Available: www.fotonik.dtu.dk/.
- [7] H. Tabassum, M. S. Ali, E. Hossain, M. J. Hossain, and D. I. Kim, “Uplink Vs. Downlink NOMA in Cellular Networks: Challenges and Research Directions,” *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2017-June, 2017, doi: 10.1109/VTCSpring.2017.8108691.
- [8] S. M. Riazul Islam, M. Zeng, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, “Non-orthogonal multiple access (NOMA): How it meets 5g and beyond,” *arXiv*, 2019, doi: 10.1002/9781119471509.w5gref032.
- [9] Z. Wei, “Performance Analysis and Design of Non-orthogonal Multiple Access for Wireless Communications,” no. June, 2019, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1910.00946>.
- [10] M. Aldababsa, M. Toka, S. Gökçeli, G. K. Kurt, and O. Kucur, “A tutorial on nonorthogonal multiple access for 5G and beyond,” *arXiv*, vol. 2018, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2018/9713450>.
- [11] W. U. Khan, F. Jameel, T. Ristaniemi, B. M. Elhalawany, and J. Liu, “Efficient power allocation for multi-cell uplink NOMA network,” *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2019-April, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/VTCSpring.2019.8746316.
- [12] S. Timotheou and I. Krikidis, “Fairness for Non-Orthogonal Multiple Access in 5G Systems,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 22, no. 10, pp. 1647–1651, 2015, doi: 10.1109/LSP.2015.2417119.
- [13] M. Shirvanimoghaddam, M. Dohler, and S. J. Johnson, “Massive Non-Orthogonal Multiple Access for Cellular IoT: Potentials and Limitations,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 9, pp. 55–61, 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1600618.
- [14] Z. Chen, Z. Ding, X. Dai, and R. Zhang, “An Optimization Perspective of the Superiority of NOMA Compared to Conventional OMA,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 65, no. 19, pp. 5191–5202, 2017, doi: 10.1109/TSP.2017.2725223.

Références

- [15] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. L. I, and Z. Wang, “Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 74–81, 2015, doi: 10.1109/MCOM.2015.7263349.
- [16] A. Li, Y. Lan, X. Chen, and H. Jiang, “Non-orthogonal multiple access (NOMA) for future downlink radio access of 5G,” *China Commun.*, vol. 12, pp. 28–37, 2015, doi: 10.1109/CC.2015.7386168.
- [17] M. Vaezi, G. A. Aruma Baduge, Y. Liu, A. Arafat, F. Fang, and Z. Ding, “Interplay between NOMA and Other Emerging Technologies: A Survey,” *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.*, vol. 5, no. 4, pp. 900–919, 2019, doi: 10.1109/TCCN.2019.2933835.
- [18] S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, “Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 721–742, 2017, doi: 10.1109/COMST.2016.2621116.
- [19] J. Zhao, Y. Liu, K. K. Chai, A. Nallanathan, Y. Chen, and Z. Han, “Spectrum Allocation and Power Control for Non-Orthogonal Multiple Access in HetNets,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 9, pp. 5825–5837, 2017, doi: 10.1109/TWC.2017.2716921.
- [20] Z. Ali, G. A. S. Sidhu, M. Waqas, and F. Gao, “On fair power optimization in nonorthogonal multiple access multiuser networks,” *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.*, vol. 29, no. 12, pp. 1–16, 2018, doi: 10.1002/ett.3540.
- [21] Y. Liu, Z. Qin, M. El-kashlan, Z. Ding, A. Nallanathan, and L. Hanzo, “Non-orthogonal multiple access for 5g and beyond,” *arXiv*, vol. 105, no. 12, pp. 2347–2381, 2018.
- [22] S. Chinnu and N. Hariharan, “A Survey on Coded Cooperative Communication,” vol. 19, no. 1, pp. 85–89, 2017, doi: 10.9790/0661-1901048589.
- [23] F. Kara and H. Kaya, “The error performance analysis of the decode-forward relay-aided-NOMA systems and a power allocation scheme for user fairness,” *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 35, no. 1, pp. 97–108, 2020, doi: 10.17341/gazimmfd.441452.
- [24] Z. Yang, Z. Ding, Y. Wu, and P. Fan, “Novel relay selection strategies for cooperative NOMA,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 11, pp. 10114–10123, 2017, doi: 10.1109/TVT.2017.2752264.
- [25] M. Xu, F. Ji, M. Wen, and W. Duan, “Novel Receiver Design for the Cooperative Relaying System with Non-Orthogonal Multiple Access,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 8, pp. 1679–1682, 2016, doi: 10.1109/LCOMM.2016.2575011.
- [26] D. T. Do and T. T. T. Nguyen, “Exact outage performance analysis of amplify-and-forward-aware cooperative NOMA,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control)*, vol. 16, no. 5, pp. 1966–1973, 2018, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i5.9823.