

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA - BÉJAÏA
FACULTÉ DE SCIENCES EXACTES
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE



MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN ADMINISTRATION ET SÉCURITÉ DES
RÉSEAUX

Adaptation de la carte réseau WIFI pour les applications IoT

Présenté par :
MOKRANI Tarik
BENAMARA Billal

Encadré par :

Mme SOUHILA MAMMERI	MCB	Encadreur
Mr MOHAND YAZID	Professeur	Co-Encadreur

Devant le jury composé de :

Mr MOHAND MOKTEFI	MCB	President
Mme KENZA HOCINI	MAB	Examinatrice
Mme WISSAM BENLALA	Doctorante	Examinatrice

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer nos remerciements à notre directeur de recherche, Mr YAZID et M MAMMERY, pour son soutien, ses conseils précieux qui ont été essentielles pour mener ce projet à bien.

Ensuite, nous tenons à remercier le Présidente de jury, Mr MOKETFI, et les deux examinateurs de notre soutenance, Mme HOCINI et Mme BENLALA, pour leur précieuse présence et leur évaluation minutieuse de notre travail.

Nous souhaitons également exprimer toute notre gratitude au Pr IGUEROUADA. Sa disponibilité et sa générosité dans le partage de ses connaissances ont grandement contribué à notre développement. Nous sommes profondément reconnaissants du temps qu'il a consacré à nous aider à progresser et à nous améliorer. Ainsi qu'à Mr Bouchebah pour nous avoir initié au concepts du Deep Learning et sa contribution tout au long de notre travail.

Nos remerciements vont également à nos collègues et amis qui nous ont apporté leur soutien et leurs encouragements pendant cette période. Leur soutien moral et leur camaraderie ont été d'une grande valeur pour nous.

Nous souhaitons également remercier notre famille pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants. Leur amour et leur encouragement ont été une source d'inspiration et de motivation tout au long de cette recherche.

MOKRANI Tarik & BENAMARA Billal,

Dédicas

À notre famille aimante et dévouée,
Votre soutien inconditionnel et votre amour constant ont été notre source d'inspiration tout au long de ce parcours. Vous avez été nos piliers, nous donnant la force et la motivation nécessaires pour surmonter les obstacles et atteindre nos objectifs. Votre présence et vos encouragements ont rendu cette aventure académique encore plus significative et enrichissante.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à nos amis et camarades de classe. Vos encouragements, votre collaboration et nos moments de partage ont rendu cette expérience mémorable et agréable. Votre amitié a apporté de la joie et de la légèreté à cette période souvent intense.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à nos enseignants et mentors. Leur expertise, leurs conseils précieux et leur passion pour la connaissance nous ont guidés tout au long de ce chemin académique. Leurs enseignements ont façonné notre réflexion et notre perspective, et nous sommes reconnaissants d'avoir eu l'opportunité d'apprendre de eux.

Ce travail est dédié à vous tous, notre famille, nos amis et nos enseignants. Votre soutien, votre amour et votre inspiration ont été les fondations de cette réalisation. Nous vous en sommes profondément reconnaissants.

Avec amour et gratitude,

MOKRANI Tarik & BENAMARA Billal,

Liste des Abréviations

- 2-DPSK** : 2-ary Differential Phase Shift Keying
- 4-DPSK** : 4-ary Differential Phase Shift Keying
- 2-GFSK** : 2-ary Gaussian Frequency Shift Keying
- 4-GFSK** : 4-ary Gaussian Frequency Shift Keying
- QAM** : Quadrature Amplitude Modulation
- AP** : Access Point
- A-MPDU** : Aggregated-Medium Access Control Protocol Data Unit
- A-MSDU** : Aggregated-Medium Access Control Service Data Unit
- BSSID** : Basic Service Set IDentifier
- CCK** : Complementary Code Keying
- CFB** : Contention Free Bursting
- COFDM** : Convolutif Code Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- CP** : Contention Period
- CSMA/CA** : Carrier Sense Multiple Access with Colision Avoidance
- CW** : Contention Window
- DIFS** : Distributed Coordination Function Inter-Frame Space
- DL MU-MIMO** : Down Link Multi User Multiple-Input Multiple Output
- DMA** : Dynamic Multichannel Access
- DSSS** : Direct Sequence Spread Spectrum
- ESS** : Extended Service Set
- ESSID** : Extended Service Set IDentifier
- FCS** : Frame Check Sequence
- FDM** : Frequency Division Multiplexing
- FHSS** : Frequency Hopping Spread Spectrum
- FSK** : Frequency Shift Keying
- HR-DSSS** : High Rate-Direct Sequence Spread Spectrum
- IBSS** : Independent Basic Service Set
- ICI** : Inter Carrier Interference
- IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers
- ISM** : Industrial, Scientific and Medical

IR : Infra-Red
MAC : Medium Access Control
MU-Beamforming : Multi User-Beamforming
MIMO : Multiple Input Multiple Output
MPDU : Medium Access Control Protocol Data Unit
MSDU : Medium Access Control Service Data Unit
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI : Open Systems Interconnection
PIFS : Point Coordination Function Inter-Frame Space
PLCP : Physical Layer Convergence Protocol
PMD : Physical Medium Dependent
PPDU : Physical Convergence Procedure Protocol Data Unit
PSK : Pre Shared Key
QPSK : Quadrature Phase Shift Keying
RTS/CTS : Request To Send/Clear To Send
SSID : Service Set Identifier
TXOP : Transmission Opportunity
WiFi : Wireless Fidelity
IOT : Internet of Things
UORA : Uplink OFDMA Random Access
e-UORA : enhanced Uplink OFDMA Random Access
RU : resource unit
TF : trigger frame

Sommaire

Sommaire	I
Table des figures	1
Liste des tableaux	1
Introduction Générale	2
I Rappels sur l'évolution du Wifi	4
I.1 Introduction	4
I.2 La couche physique	4
I.2.1 Canaux et modulations du Wifi	5
I.2.2 Techniques multi-antennes	11
I.2.3 Regroupement de canaux	12
I.2.4 Liaison Full duplex	13
I.3 La couche de contrôle d'accès au médium	14
I.3.1 Modes de fonctionnement du Wifi	14
I.3.2 Agrégation de trames	15
I.4 Conclusion	16
II État de l'art sur le WIFI 7 et IoT	17
II.1 Introduction	17
II.2 La norme IEEE 802.11be	17
II.2.1 Bande, canaux et densité	18
II.2.2 MIMO et D-MIMO	19
II.2.3 Co-OFDMA (Coordinated Orthogonal Frequency Division Multiple Access)	20
II.3 L'internet des Objets	20
II.3.1 Définition des concepts	20
II.3.2 Architectures	21
II.3.3 Technologies utilisées	22
II.3.4 Domaines d'application	23
II.3.5 Intégration du Wifi dans l'IoT	24
II.4 Les travaux de recherche sur le WiFi dans le contexte de l'IoT	24
II.5 Conclusion	28

III Proposition et évaluation de performance	29
III.1 Introduction	29
III.2 Problématique et motivations	29
III.3 Proposition d'une nouvelle méthode d'allocation des ressources	31
III.4 Simulation, résultats et interprétations	33
III.4.1 présentation du simulateur	33
III.4.2 Le fonctionnement d'e-UORA	33
III.4.3 Les paramètres de simulation et analyse des résultats	33
III.4.4 L'impact des RU aléatoire et le nombre de station sur le taux de collusion	34
III.4.5 L'impact des RU aléatoire et le nombre de station sur le taux d'allocation	35
III.4.6 L'impact des RU aléatoire et le nombre de station sur le débit . . .	37
III.5 Conclusion	38
Conclusion Générale	40

Table des figures

I.1	La structure logique de la couche physique IEEE 802.11.[22].	4
I.2	Transmission en mode FHSS.[7].	8
I.3	Elimination de l'ISI par le Préfixe Cyclique. [12].	9
I.4	Types de RU, leur nombre et leur emplacement sur un canal de 20 MHz[5].	10
I.5	les cycles de communication[10].	10
I.6	DL MU-MIMO et UL MU-MIMO[13].	12
I.7	Concept de la technologie half et full duplex[1].	13
I.8	Concept du mode ad hoc[19].	14
I.9	Concept du mode infrastructure[19].	15
II.1	wireless local-area network for IOT application[21].	17
II.2	Les bandes de frequences du wifi 7[13].	19
II.3	1024-QAM vs 4096-QAM[13].	19
II.4	un exemple de la technique D-MIMO utilisant 16 flux spatiaux[13].	20
II.5	Couches d'architecture IOT[4].	22
II.6	Les domaines de l'IOT[15]	23
II.7	L'organigramme de l'algorithme proposé[20].	26
II.8	Shéma de garantie de latence basé sur l'OFDMA proposé[8]	28
III.1	Organigramme de l'UORA[10].	30
III.2	L'organigramme d'e-UORA.	32
III.3	L'impact du nombre de RUs a accès aléatoire sur le taux de collision.	34
III.4	L'impact du nombre de station sur le taux de collision.	35
III.5	L'impact du nombre de RUs a accès aléatoire sur le taux d'allocation.	36
III.6	L'impact du nombre de station sur le taux d'allocation.	36
III.7	L'impact du nombre de RUs a accès aléatoire sur le débit.	37
III.8	L'impact du nombre de station sur le débit.	38

Liste des tableaux

- I.1 Les canaux.[7]. 5
- I.2 Les canaux à 2.4 GHz.[7]. 6
- I.3 Les canaux à 5 GHz[7]. 7

- II.1 Les principales innovations de l'IEEE 802.11be[9] 18
- II.2 Les trois procédures[11] 25

- III.1 les paramètres de simulation 34

Introduction Générale

L'avènement du Wi-Fi à la fin des années 90 a marqué une véritable révolution dans l'informatique grand public, offrant une connectivité sans fil pratique et largement utilisée de nos jours. L'IoT, c'est connecter presque tout, il permet de stimuler l'innovation pour des villes intelligentes grâce à des connexions robustes et fiables entre des objets abstraits et/ou réels. Les objets peuvent être alimentés par batterie, et une fois implémentés, ils peuvent bouger et se déplacer. Concernant les données, il existe différents modèles de trafic IoT avec des exigences de délai et de débit différentes.

Le WiFi est partout ; c'est le réseau d'accès direct à Internet en fournissant une large gamme de débits de données grâce à la diversité de conception de ses puces et cartes. En particulier, ces structures de réseaux locaux sans fil centralisées sont plus efficaces pour gérer les environnements de communication dynamiques IoT et divers types de trafic IoT. L'IoT a ouvert de nouvelles perspectives en permettant la connexion de divers appareils pour stimuler l'innovation et créer des environnements intelligents. Ces avancées technologiques ont conduit à l'émergence du Wi-Fi 7, une extension du Wi-Fi 6, qui promet des performances améliorées, une latence réduite et des débits plus rapides.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, nous explorons en profondeur les différents aspects techniques du standard IEEE 802.11, qui régit les réseaux locaux sans fil. Nous examinons les couches physiques et de contrôle d'accès au médium de ce standard, en mettant l'accent sur les méthodes et les fonctions clés utilisées.

Dans le deuxième chapitre nous introduisons ensuite le Wi-Fi 7, une technologie qui étend les avantages du Wi-Fi 6 à la bande de fréquence 6 GHz. Le Wi-Fi 7 offre des performances optimisées, une faible latence et une large bande passante, rendant ainsi possible l'exploitation du plein potentiel de l'IoT. Cette évolution du Wi-Fi joue un rôle essentiel dans la gestion des environnements de communication dynamiques de l'IoT et de ses divers types de trafic.

Dans le troisième chapitre, nous abordons la question cruciale de l'allocation efficace des ressources et de la gestion du trafic dans les réseaux sans fil. Nous proposons une amélioration de la méthode UL OFDMA à accès aléatoire pour des applications à temps réel IoT. Dans ce contexte, nous examinons les limites de l'approche opportuniste basée sur l'allocation aléatoire des ressources (UORA), mettant en évidence les taux de collisions et les contraintes de débit. Pour surmonter ces limitations, nous nous penchons sur l'amélioration de l'UORA grâce à la méthode e-UORA (Enhanced UORA). La méthode e-UORA vise à optimiser l'allocation des ressources, réduire les collisions et améliorer le débit global du réseau.

Dans l'ensemble, ce mémoire se propose d'explorer en détail le Wi-Fi 7, l'IoT et l'amélioration de l'allocation des ressources dans les réseaux sans fil. Nous analysons les performances, les avantages et les limites de ces technologies, offrant ainsi une compréhension approfondie des défis et des opportunités associés à ces domaines en constante évolution.

Rappels sur l'évolution du Wifi

I.1 Introduction

La fin des années 90 a été l'occasion d'une révolution dans les usages de l'informatique grand public avec l'arrivée d'une technologie de réseau sans fil encore utilisée aujourd'hui : le Wi-Fi, plus exactement le standard des réseaux locaux IEEE 802.11 qui a vu le jour précisément en 1997. La norme concerne les deux premières couches du modèle OSI, à savoir la couche physique (PHY) et la couche de contrôle d'accès au support (MAC).

Dans ce chapitre, nous allons apporter un aperçu technique du standard IEEE 802.11 avec ses différentes couches. Nous allons détailler ensuite les principales méthodes et fonctions utilisées au niveau des deux couches physiques et de contrôle d'accès au médium

I.2 La couche physique

La couche physique a pour rôle principal d'établir et de maintenir le lien radio ou infrarouge pour permettre la transmission de données sans fil entre les stations composant le réseau. Pour ce faire, elle propose certaines primitives à la couche supérieure. En particulier, elle offre à la couche MAC des primitives lui permettant de tester l'état occupé ou disponible du canal radio ou infrarouge, ou bien encore de savoir si une transmission ou une réception vient de commencer ou de se terminer, etc.

Afin de garantir à la couche MAC une dépendance moindre vis-à-vis de la couche physique, une sous-couche de convergence servant d'interface entre les deux a été définie. La couche physique se décompose en deux parties : la PMD et la sous-couche PLCP [22].

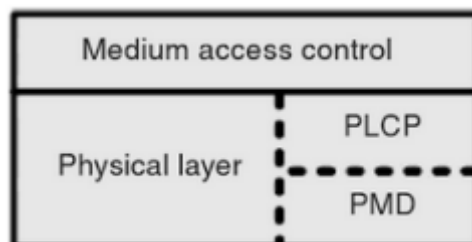


FIGURE I.1 – La structure logique de la couche physique IEEE 802.11.[22].

I.2.1 Canaux et modulations du Wifi

I.2.1.1 Les canaux

Les équipements Wi-Fi, comme toutes les techniques sans fil, utilisent une des bandes de fréquences hertziennes (bandes UHF et SHF) afin de limiter les interférences avec d'autres équipements. Il existe un total de quatorze canaux définis pour une utilisation par des installations Wi-Fi et des appareils dans la bande ISM de 2,4 GHz. Tous les canaux Wi-Fi ne sont pas autorisés dans tous les pays. Aux États-Unis, la répartition des bandes de fréquences est gérée par la FCC. En Europe, c'est l'autorité ETSI qui en prend la charge. La bande de fréquence 5 GHz élargit le nombre de canaux à 45 canaux [7].

- Pour le 2,4 GHz, ce spectre hertzien se définit sous la forme de canaux numérotés de 1 à 13. En Amérique du Nord, les canaux s'arrêtent à 11.
- La bande de fréquence 5 GHz, quant à elle, se divise en 19 canaux non chevauchants en Europe. Cela monte à 24 en Amérique du Nord.

Norme WiFi	Lancement	Fréquence
802.11	1997	2,4GHz
802.11b	1999	2,4GHz
802.11a	1999	5GHz
802.11g	2003	2,4GHz
802.11n	2009	2,4GHz / 5GHz
802.11ac(1ère vague)	2014	5GHz
802.11ac(2ème vague)	2016	5GHz
802.11ax	fin 2019	2,4GHz/5GHz

TABLE I.1 – Les canaux.[7].

Les canaux à 2,4 GHz Les canaux utilisés pour le Wi-Fi dans la bande de fréquences de 2,4 GHz sont généralement espacés de 5 MHz, mais ont une largeur de bande de 22 MHz. En conséquence, les canaux Wi-Fi se chevauchent, et il est possible de trouver au maximum trois canaux qui ne se chevauchent pas. De plus, il convient de noter que les normes 802.11 b/g/n/ax exploitent les canaux 2,4 GHz.

Avec la norme IEEE 802.11n, il est possible d'utiliser des largeurs de bande de signal de 20 MHz ou de 40 MHz. Lorsque la bande passante de 40 MHz est utilisée pour obtenir un débit de données plus élevé, cela réduit évidemment le nombre de canaux pouvant être utilisés. En effet, l'élargissement du canal entraîne un doublement des interférences avec les réseaux voisins. Pour remédier à cela, l'IEEE a introduit un mécanisme de coexistence sur la bande de fréquence de 2,4 GHz afin de ne pas perturber les réseaux voisins [7].

Canal	Fréquence basse	Centre	Fréquence haute
1	2401	2412	2423
2	2406	2417	2428
3	2411	2422	2433
4	2416	2427	2438
5	2421	2432	2443
6	2426	2437	2448
7	2431	2442	2453
8	2436	2447	2458
9	2441	2452	2463
10	2446	2457	2468
11	2451	2462	2473
12	2456	2467	2478
13	2461	2472	2483
14	2473	2484	2495

TABLE I.2 – Les canaux à 2.4 GHz.[7].

Les canaux à 5 GHz En Europe, la bande de fréquence 5 GHz se divise en 19 canaux non chevauchants. En plus de fournir un spectre plus étendu, cette bande de fréquence est utilisée dans les normes 802.11a/n/ac/ax. Le Wi-Fi 5 GHz rencontre généralement moins d'interférences. Enfin, l'utilisation de fréquences dans la bande 5 GHz permet généralement d'obtenir des vitesses de réseau Wi-Fi plus rapides[14].

Canal	Fréquence basse	Centre	Fréquence haute
36	5170	5180	5190
40	5190	5200	5210
44	5210	5220	5230
48	5230	5240	5250
52	5250	5260	5270
56	5270	5280	5290
60	5290	5300	5310
64	5310	5320	5330
100	5490	5500	5510
104	5510	5520	5530
108	5530	5540	5550
112	5550	5560	5570
116	5570	5580	5590
120	5590	5600	5610
124	5610	5620	5630
128	5630	5640	5650
132	5650	5660	5670
136	5670	5680	5690
140	5690	5700	5710

TABLE I.3 – Les canaux à 5 GHz[7].

I.2.1.2 Les techniques de modulation

La norme IEEE 802.11 a initialement prévu l'utilisation de trois techniques de modulation, à savoir l'IR (InfraRed), le FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum) et le DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum), sur les bandes de fréquences de 2,4 GHz. Cependant, l'IR n'a jamais été utilisé commercialement, tout comme le FHSS, qui a rapidement été abandonné dans les réseaux locaux sans fil. En revanche, la technique DSSS est la plus couramment utilisée dans les cartes sans fil et les points d'accès. En 1999, deux nouvelles techniques de modulation ont été développées, à savoir le HR-DSSS (High-Rate DSSS) et l'OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Cette section détaillera toutes ces techniques de modulation.

FHSS Le FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) est une technique de modulation inventée en 1942 par Hedy Lamarr et George Antheil. Elle consiste à diviser une large bande de fréquence en plusieurs canaux et à sauter continuellement d'un canal à l'autre selon une séquence prédéfinie. Cette technique offre une résistance élevée aux interférences et permet à plusieurs communications de coexister en évitant les collisions de canaux.

Dans le domaine du Wi-Fi, le FHSS n'est pas largement utilisé, contrairement au Bluetooth et au HomeRF. Il offre la possibilité d'éviter les canaux bruités, mais il ne bénéficie pas d'une exploitation complète de cette fonctionnalité.

Chaque communication en FHSS utilise un seul canal à la fois, ce qui limite le débit. Les canaux dans la bande de fréquence 2,4 GHz sont découpés en canaux de 1 MHz de largeur, avec des modulations 2GFSK et 4GFSK permettant des débits de 1 Mb/s et 2 Mb/s respectivement. Le choix de la modulation dépend du rapport signal/bruit, avec une adaptation automatique du débit selon les conditions [7].

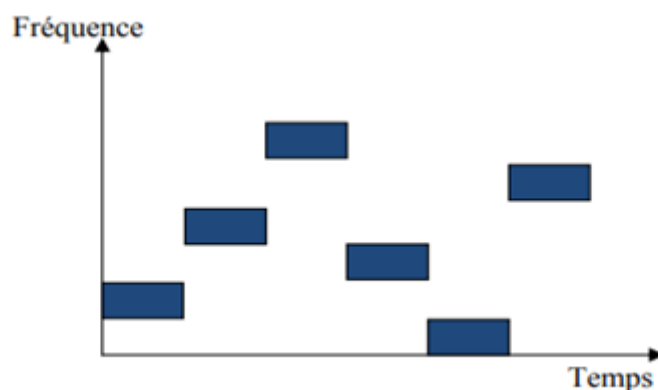


FIGURE I.2 – Transmission en mode FHSS.[7].

DSSS Le DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) est une technique d'étalement de spectre utilisée dans les normes 802.11b et 802.11a du Wi-Fi. Il étale le spectre du signal en utilisant des transitions d'état rapides appelées chipping. Cette technique permet d'atteindre des débits élevés en envoyant une séquence de bits, appelée code d'étalement, pour chaque bit d'information à transmettre.

Le DSSS offre une meilleure résistance au bruit et la correction des erreurs. Il utilise des canaux de 22 MHz de largeur dans la bande de fréquence de 2,4 GHz pour la norme 802.11b, et la même bande de fréquence pour la norme 802.11a. Les émetteurs et les récepteurs doivent se mettre d'accord sur un canal fixe pour communiquer. Le DSSS utilise la modulation 2DPSK pour un débit de 1 Mb/s et la modulation 4DPSK pour un débit de 2 Mb/s.

Le code d'étalement utilisé dans le DSSS a une longueur de 11 bits et est toujours égal à 10110111000. Ce code appartient à une famille de codes qui favorisent un bon étalement de spectre et facilitent la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur pour minimiser les problèmes dus au multipath [7].

HR-DSSS Pour augmenter les débits à 5,5 Mb/s ou 11 Mb/s, la norme 802.11b a introduit une amélioration appelée High-Rate DSSS (HR-DSSS), également connue sous le nom de DSSS à haute vitesse. Cette technique repose sur le même principe d'étalement par chipping que le DSSS, mais utilise la modulation CCK (Complementary Code Keying).

Le HR-DSSS utilise jusqu'à 64 codes différents, appelés "codes complémentaires", au lieu d'un seul code de Barker utilisé dans le DSSS standard. Chaque code complémentaire, d'une longueur de 8 bits, permet de transporter 6 bits d'information en plus des 2 bits autorisés par la modulation 4DPSK. Ces codes sont conçus de manière à ce que les récepteurs puissent les distinguer même en présence d'erreurs de transmission ou de décalages dus au multipath.

En utilisant ces codes complémentaires, le HR-DSSS offre un débit plus élevé car il y a moins de redondance dans les données transmises. Cependant, cette augmentation de débit est effective uniquement à courte distance et dans des conditions de réception optimales, car la résistance au multipath est meilleure. Par conséquent, le HR-DSSS est plus adapté pour une utilisation en intérieur et sur de courtes distances par rapport au DSSS standard utilisant le code de Barker [7].

OFDM L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique de modulation utilisée dans les normes de communication sans fil telles que 802.11a/g/n/ac.

Elle offre de nombreux avantages, tels qu'un débit élevé, une adaptation au canal de propagation, une implémentation simple et une résistance aux interférences.

L'OFDM divise la bande passante disponible en plusieurs sous-porteuses étroites et transmet les données simultanément sur ces sous-porteuses parallèles. Cela permet d'obtenir des débits plus élevés et de gérer plus efficacement l'Interférence Inter Symbole (ISI).

Une caractéristique importante de l'OFDM est l'utilisation d'un préfixe cyclique (CP - Cyclic Prefix) ajouté à chaque symbole. Ce préfixe permet d'éliminer l'ISI en insérant une copie d'un bloc d'information en amont de la trame. Ainsi, l'OFDM gère efficacement les problèmes liés à l'ISI.

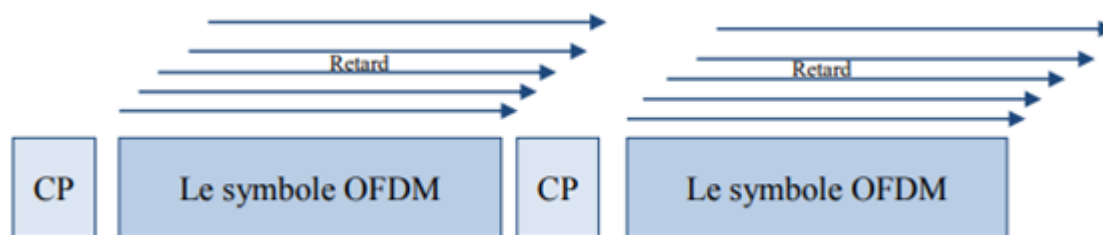


FIGURE I.3 – Elimination de l'ISI par le Préfixe Cyclique. [12].

Dans un système OFDM, les données sont transmises en parallèle sur différentes sous-porteuses, modulées avec des techniques de modulation telles que QPSK, QAM ou 64 QAM. Chaque symbole OFDM est une combinaison linéaire des signaux instantanés sur chaque sous-porteuse, ce qui permet une transmission efficace des données.

L'OFDM utilise également des sous-porteuses étroitement espacées pour éviter les interférences entre porteuses (ICI). La précision de l'échantillonnage à la fréquence centrale de chaque sous-porteuse est essentielle pour éviter ce problème.

Pour renforcer la fiabilité de l'OFDM, des codes convolutifs ou COFDM (Convolutif Code OFDM) peuvent être utilisés. Ces codes ajoutent de la redondance au message transmis, permettant ainsi au récepteur de corriger les erreurs de transmission [7] [12].

OFDMA Dans la norme IEEE 802.11ax, une caractéristique importante pour gérer de nombreux points d'accès et terminaux est l'introduction de l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pour la transmission multi-utilisateurs. Cette technique offre les avantages suivants :

- Jusqu'à 9 utilisateurs peuvent être pris en charge en direction descendante (DL) et en direction montante (UL).
- Un seul dispositif nécessite une antenne radio ordinaire.
- Aucune interférence totale lors du transfert des flux de données..

L'OFDMA divise un canal de transmission de 20 MHz, comprenant 256 sous-porteuses (y compris des sous-porteuses de données et de contrôle), en plusieurs sous-canaux indépendants appelés RU (Resource Units). Les RU peuvent être composées de 26, 52, 106 ou 242 sous-porteuses, et chaque RU est exclusivement attribuée à un seul utilisateur [5].

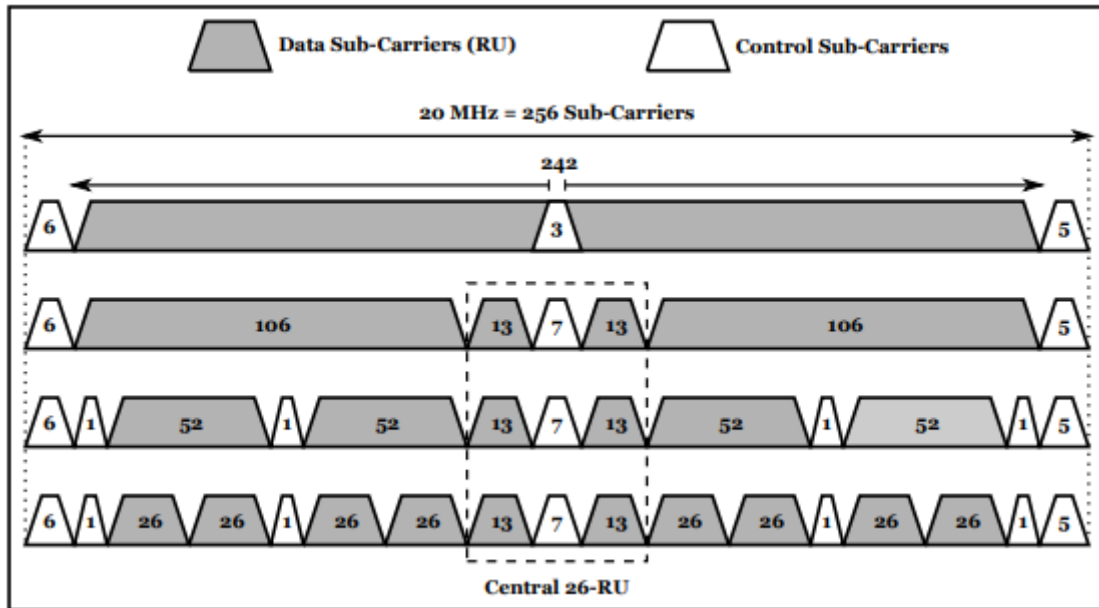


FIGURE I.4 – Types de RU, leur nombre et leur emplacement sur un canal de 20 MHz[5].

Les communications OFDMA multi-utilisateurs sont organisées en cycles de communication comprenant une phase DL et une phase UL. Chacune de ces phases se compose de deux étapes : l'étape d'attribution et l'étape de transmission.

Dans la phase DL OFDMA, l'AP transmet des paquets simultanément à plusieurs STA en utilisant une RU différente pour chaque STA.

Dans la phase UL OFDMA, plusieurs STA transmettent simultanément des paquets à l'AP, chaque STA utilisant une RU différente. Il existe deux types d'opérations UL OFDMA :

- L'accès programmé : Les STA partagent les RU OFDMA sans conflit. Chaque STA demande l'autorisation de transmission à l'AP via la signalisation BSR. Ensuite, l'AP attribue une RU dédiée à chaque STA en envoyant une trame de déclenchement (TF) contenant les informations de planification.
- L'accès aléatoire : Les STA acquièrent une RU en utilisant un mécanisme basé sur la contention appelé UORA (Uplink OFDMA Random Access) [10].

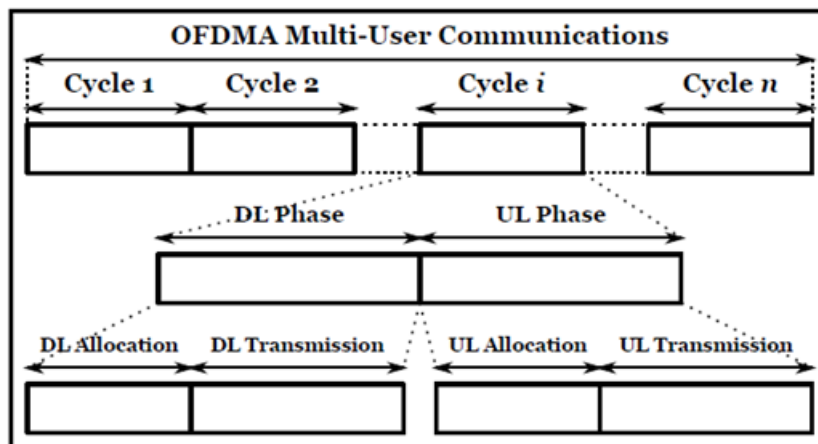


FIGURE I.5 – les cycles de communication[10].

UORA L'UORA est un algorithme utilisé dans les systèmes de communication pour gérer l'accès aux ressources partagées, telles que les canaux de transmission, dans un environnement où plusieurs utilisateurs tentent d'accéder simultanément à ces ressources. L'objectif de l'UORA est d'optimiser l'utilisation des ressources en réduisant les collisions, c'est-à-dire les situations où plusieurs utilisateurs tentent d'accéder à la même ressource en même temps, ce qui peut entraîner une dégradation des performances du système. L'algorithme UORA utilise une approche aléatoire pour attribuer des créneaux d'accès aux utilisateurs, ce qui permet de réduire les collisions et d'améliorer l'efficacité de l'accès aux ressources partagées. L'UORA est utilisé dans diverses applications de communication, notamment les réseaux sans fil, où l'accès multiple est nécessaire pour prendre en charge un grand nombre d'utilisateurs.

Dans l'accès au canal basé sur OFDMA, les canaux radio sont divisés en plusieurs groupes de sous-canaux, appelés unités de ressources (RUs). Pour faciliter les transmissions Uplink (ascendantes), le standard IEEE 802.11ax définit une trame de contrôle appelée TF (Trigger Frame). La trame TF sert à assurer la synchronisation entre les transmissions provenant des stations vers le point d'accès, ainsi que l'allocation des unités de ressources. Si une station n'est pas associée, le AP dans ce cas, ne peut savoir si la station possède des données à transmettre ou non. Par conséquent, l'AP ne peut lui allouer une RU pour la transmission. Pour permettre aux STAs de participer aux transmissions uplink via UL OFDMA, la procédure d'accès aléatoire a été définie comme illustrée dans la figure. Dans ce protocole, l'AP sélectionne quelques RU pour l'accès aléatoire de UL OFDMA, identifiées par un AID value=0 (AID : Associated Identifier) .

Le fonctionnement de UORA est basé sur la fenêtre de contention OFDMA (OCW : OFDMA Contention Window) et l'accès aléatoire OFDMA (OBO : OFDMA BackOff). Chaque station sélectionne un compteur OBO aléatoire et à partir de la plage (0, OCW) et ensuite, OBO est réduit par le nombre de RUS admissibles attribuées par le point d'accès pour les transmissions UL. Les stations émettent lorsque leur OBO=0. Si le compteur OBO devient inférieur ou égal à zéro, le STA est autorisé à transmettre la trame sur la RU qu'elle a choisie arbitrairement. L'intervalle OCW est configuré par l'AP et envoyé aux stations à travers les trames de contrôle Beacon.

I.2.2 Techniques multi-antennes

Le multiplexage spatial, qui exploite la présence de multiples antennes à la fois au niveau du point d'accès et des STA, reste une des technologies clés pour parvenir à des débits élevés dans les réseaux WLAN.

MIMO Les systèmes multi-antennes MIMO ont été introduits par la société Bell et sont utilisés dans plusieurs normes de communication telles que IEEE 802.11n (Wi-Fi), WiMax, 3GPP, LTE, etc. Les systèmes MIMO utilisent plusieurs antennes à la fois à l'émetteur et au récepteur, ce qui permet d'obtenir un débit de transmission beaucoup plus élevé par rapport à une transmission classique avec une seule antenne. Grâce au MIMO, le débit peut être doublé de manière proportionnelle au nombre d'antennes, sans nécessiter d'augmentation de la bande passante ni de modification de la modulation utilisée. Les systèmes MIMO peuvent également être utilisés pour réduire le taux d'erreur par bit. Ces techniques offrent de bonnes performances dans les canaux à trajets multiples, mais elles présentent le problème de l'ISI (interférence inter-symbole). On distingue les systèmes MIMO à multiplexage spatial et les systèmes MIMO à diversité temporelle. Lors des transmissions MIMO, les antennes d'émission peuvent être

réparties sur différentes porteuses, ce qui permet de récupérer la diversité fréquentielle lors de la réception. La capacité de transmission d'un système MIMO est définie comme le débit maximum possible offrant une probabilité d'erreur très faible. Les signaux reçus sont décodés et combinés pour reconstituer le message transmis. Du côté de la réception, l'utilisation de plusieurs antennes espacées permet de bénéficier de la diversité spatiale. La diversité spatiale est obtenue en envoyant simultanément le même message sur plusieurs antennes à l'émission. Le récepteur reçoit ainsi plusieurs répliques du signal, qui sont traitées de manière cohérente afin de réduire l'affaiblissement du signal et d'identifier les variations du canal de propagation [16].

MU/MIMO (UL/DL) Le MIMO multi-utilisateur (MU-MIMO) est l'une des fonctionnalités clés du Wi-Fi 6. Alors que le MIMO mono-utilisateur (SU-MIMO) permet d'augmenter le débit par utilisateur grâce à la transmission multi-flux, ses avantages sont limités par le fait que la plupart des clients ne prennent en charge que 1 ou 2 flux spatiaux. Ainsi, même si un point d'accès peut prendre en charge 4 ou 8 flux spatiaux, il ne peut envoyer que 2 flux spatiaux au maximum pour correspondre au client récepteur. Le MU-MIMO permet à un point d'accès multi-antennes de communiquer simultanément avec plusieurs clients, ce qui augmente le débit global du système. La norme IEEE 802.11ac inclut la prise en charge du MU-MIMO mais est limitée à 4 flux. De plus, le 802.11ac ne prend en charge que la transmission en liaison descendante. De plus, étant donné que le 802.11ac fonctionne uniquement à 5 GHz, le MU-MIMO ne peut pas être utilisé dans la bande 2,4 GHz. En revanche, IEEE 802.11ax prend en charge jusqu'à 8 flux de transmissions MU-MIMO en liaison descendante et en liaison montante, à la fois dans les bandes 2,4 GHz et 5 GHz. La figure ci-dessous illustre un scénario MU-MIMO dans lequel un point d'accès 8x8 participe à des transmissions UL/DL avec quatre clients 2x2 en même temps [13].



FIGURE I.6 – DL MU-MIMO et UL MU-MIMO[13].

I.2.3 Regroupement de canaux

Le regroupement de canaux dans les réseaux Wifi permet de combiner deux canaux adjacents pour former un seul canal, ce qui permet d'augmenter le débit proportionnellement à la largeur de la bande de fréquences utilisée. Cette technique permet de doubler le débit sans effort supplémentaire. Les normes Wifi précédentes, telles que IEEE 802.11a et 802.11g, utilisaient des canaux de largeur fixe de 20 MHz.

Cependant, avec l'évolution des normes Wifi, telles que 802.11n, 802.11ac/ax et 802.11be, il est possible d'utiliser des canaux de largeurs plus importantes, tels que 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz et même 320 MHz.

Cependant, il convient de noter que la disponibilité des canaux dépend des réglementations et des bandes de fréquences utilisées. Par exemple, la bande 2,4 GHz offre une bande passante limitée, ce qui signifie qu'il y a moins de canaux indépendants disponibles. En revanche, la bande 5 GHz offre une bande passante plus large, permettant ainsi d'avoir davantage de canaux indépendants.

Lorsqu'on regroupe des canaux, il est essentiel que tous les appareils du réseau prennent en charge cette fonctionnalité. Les appareils qui ne sont pas compatibles risquent de provoquer des interférences et des pertes de paquets, ce qui peut réduire le débit et rendre le réseau instable. Pour assurer une cohabitation harmonieuse entre les appareils compatibles et non compatibles, des mécanismes de coordination et d'accès aux canaux sont mis en place, tels que le CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) [17][7].

I.2.4 Liaison Full duplex

Le système conventionnel semi-duplex (HD) utilise des créneaux horaires distincts pour la transmission et la réception afin d'éviter les interférences. En revanche, le système Full Duplex (FD) permet à un appareil de transmettre et de recevoir simultanément des signaux sur le même canal, comme illustré à la Figure. Par rapport à la communication HD, la communication FD peut potentiellement doubler le débit et/ou réduire la latence de moitié. Cependant, le fonctionnement en FD produit une auto-interférence (SI) qui est générée à partir de son propre signal transmis et interfère avec le signal reçu souhaité. Par conséquent, pour permettre la communication FD, le signal d'auto-interférence doit être supprimé jusqu'au plancher de bruit. Par conséquent, l'annulation de l'auto-interférence (SIC) est le problème le plus important pour rendre le système FD réalisable. Depuis que la première démonstration utilisant un système prototype a été rapportée en 2010, diverses études sur le FD, y compris les techniques d'annulation de l'auto-interférence (SIC), ont été activement menées en vue de sa réalisation [1].

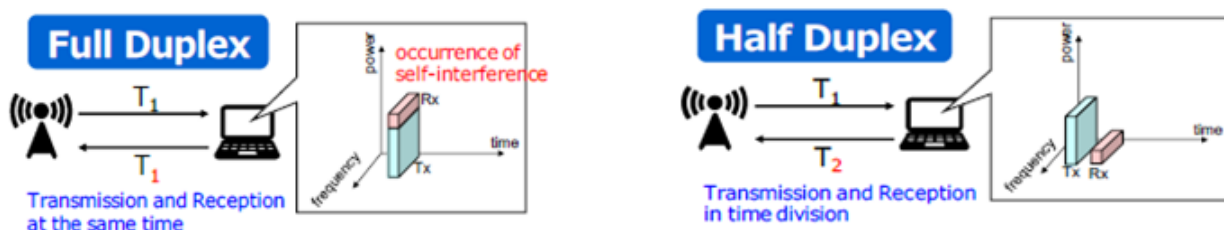


FIGURE I.7 – Concept de la technologie half et full duplex[1].

Lors de l'utilisation de la radio Full Duplex, deux cas de transmission souhaités existent :

- Transmission bidirectionnelle en duplex intégral (BFD) : dans laquelle l'AP (point d'accès) et la STA (station) peuvent simultanément transmettre ou recevoir l'un de l'autre.
- Transmission unidirectionnelle en duplex intégral (UFD) : dans laquelle l'AP peut simultanément transmettre à une STA tout en recevant d'une autre STA [3].

I.3 La couche de contrôle d'accès au médium

La couche MAC est considérée comme le cerveau du Wifi. La première version du standard 802.11 a défini la couche MAC en intégrant un certain nombre de fonctionnalités cruciales, telles que le partage de la parole entre les utilisateurs, les modalités de connexion au réseau, le contrôle d'erreur et la sécurité. Elle fournit deux mécanismes appropriés pour contrôler l'accès au canal [7].

I.3.1 Modes de fonctionnement du Wifi

Le standard 802.11 définit deux modes opératoires :

I.3.1.1 Le mode ad hoc

En mode ad hoc, les machines clientes sans fil se connectent directement les unes aux autres pour former un réseau point à point, appelé ensemble de services de base indépendants (IBSS). Cela permet aux personnes situées dans une même salle d'échanger des données sans utiliser de point d'accès. Contrairement au mode infrastructure, le mode ad hoc ne dispose pas d'un système de distribution pour transmettre les données entre les stations. La portée du réseau ad hoc est déterminée par la portée de chaque station, ce qui signifie que si deux stations sont hors de portée l'une de l'autre, elles ne pourront pas communiquer. Ainsi, un IBSS est un réseau sans fil restreint et éphémère [19].

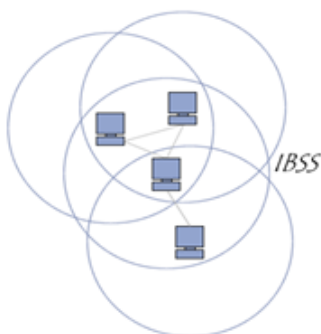


FIGURE I.8 – Concept du mode ad hoc[19].

I.3.1.2 Le mode infrastructure

En mode infrastructure, les ordinateurs stations (STA) se connectent à un point d'accès via une liaison sans fil. Cela forme un ensemble de services de base (BSS), également appelé cellule, composé du point d'accès et des stations situées dans sa zone de couverture. Chaque BSS est identifié par un BSSID, qui est généralement l'adresse MAC du point d'accès. Le mode infrastructure est le mode par défaut des cartes 802.11b. Plusieurs points d'accès peuvent être reliés entre eux par un système de distribution (DS) pour former un ensemble de services étendu (ESS). Le DS peut être un réseau filaire ou une liaison sans fil entre les points d'accès. L'ESS est identifié par un ESSID (Service Set Identifier), qui est un nom de réseau de 32 caractères. L'ESSID, abrégé en SSID, joue un rôle dans la sécurité car il est nécessaire de connaître le SSID pour se connecter au réseau étendu. Lorsqu'un utilisateur se déplace au sein de l'ESS et passe d'un BSS à un autre, l'adaptateur réseau sans fil de sa machine peut changer de point d'accès en fonction de la

qualité des signaux reçus. Les points d'accès communiquent entre eux via le système de distribution pour échanger des informations sur les stations et, si nécessaire, transmettre les données des stations mobiles. Cette fonctionnalité, permettant aux stations de passer d'un point d'accès à un autre de manière transparente, est appelée itinérance [19].

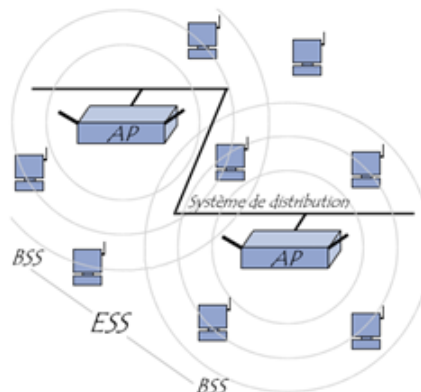


FIGURE I.9 – Concept du mode infrastructure[19].

I.3.2 Agrégation de trames

La quantité de trafic de données augmente dans les WLAN récents en raison de l'augmentation du nombre de terminaux mobiles (MT) connectés, résultant de l'émergence de divers types de MT pouvant se connecter. Pour répondre à cette demande de trafic, les normes WLAN telles que l'IEEE 802.11n/ac adoptent une technique d'agrégation de trames au niveau de la couche de contrôle d'accès au support (MAC) pour s'adapter de manière plus efficace à l'augmentation du trafic. L'agrégation de trames contribue à réduire la surcharge de signalisation, telle que l'en-tête MAC et l'échange de demande d'envoi (RTS/CTS), en transmettant des trames sans fil (couche physique).

Pour cela, trois types de méthodes d'agrégation de trames sont définis pour l'agrégation au niveau de la couche MAC : la méthode d'agrégation de l'unité de données de service MAC (A-MSDU), la méthode d'agrégation de l'unité de données de protocole MAC (A-MPDU) et la méthode hybride A-MSDU/A-MPDU [7].

A-MSDU Le concept d'A-MSDU consiste à envoyer plusieurs MSDU vers le même récepteur en les concaténant dans un seul MPDU. Cette fonctionnalité de support pour l'A-MSDU dans la norme 802.11n est obligatoire au niveau du récepteur. Cependant, étant donné que l'adresse de destination (DA) et l'adresse de l'expéditeur (SA) dans l'en-tête de sous-trame doivent correspondre à l'adresse de récepteur (RA) et à l'adresse de l'émetteur (TA) dans l'en-tête MAC, l'A-MSDU ne peut pas être utilisé pour la diffusion et la multidiffusion [7].

A-MPDU Le concept d'agrégation A-MPDU consiste à regrouper plusieurs sous-trames MPDU avec un seul en-tête PHY principal. Une différence essentielle par rapport à l'agrégation A-MSDU est que l'A-MPDU fonctionne après le processus d'encapsulation de l'en-tête MAC. Cette méthode offre un débit MAC plus élevé que

l'A-MSDU. Ainsi, les A-MPDU ont une surcharge supérieure, mais chaque paquet de données a sa propre séquence de contrôle de trame (FCS) contenue dans la trame MAC (contrairement aux A-MSDU, qui n'ont qu'une seule FCS pour l'ensemble de la trame agrégée) [7].

L'agrégation hybride des trames A-MSDU/A-MPDU La méthode hybride, qui combine l'A-MSDU et l'A-MPDU, a été étudiée pour obtenir une efficacité de transmission plus élevée et un taux d'erreur de trame plus faible dans les canaux sans fil présentant des erreurs de transmission [7].

I.4 Conclusion

En conclusion, nous avons exploré les différentes méthodes et fonctions utilisées dans les normes de communication sans fil IEEE 802.11, qui sont basées sur les couches physique (PHY) et de contrôle d'accès au support (MAC). La couche PHY assure la transmission des données sur le canal de communication sans fil en utilisant des techniques de modulation, de codage et de modulation de fréquence adaptées à la bande de fréquences utilisée. Elle supporte plusieurs bandes de fréquences telles que 2,4 GHz et 5 GHz, et utilise des techniques de modulation variées telles que FHSS, DSSS, HR-DSSS, OFDM et OFDMA. Quant à la couche MAC, elle gère l'accès au support de transmission de données et régule les connexions et l'échange de données entre les équipements du réseau. Ces deux couches travaillent en synergie pour assurer des communications sans fil efficaces et fiables.

État de l'art sur le WIFI 7 et IoT

II.1 Introduction

Le Wifi 7 est l'extension du Wi-Fi 6, l'amendement IEEE 802.11 le plus récemment normalisé qui offre des performances plus élevées, une latence plus faible et des débits de données plus rapides. Le Wifi 7 permet d'étendre alors les avantages du WiFi 6 à la bande de fréquence 6 GHz, ce qui offre une connectivité haute performance à faible latence avec plus de bande passante disponible. Par conséquent, le WiFi 7 est la technologie qui pourra rendre accessible le potentiel de l'IoT.

Ce chapitre sera subdivisé en trois sections, une section pour WiFi 7 et une section pour l'IoT et une troisième section pour les travaux de recherche de la littérature liés au Wifi dans le contexte de l'IoT.

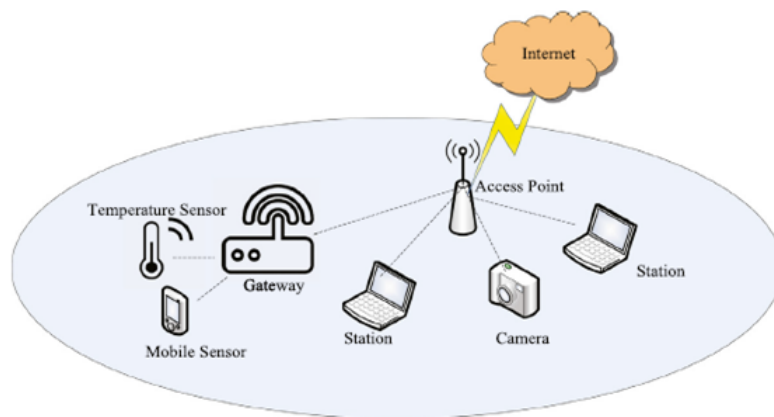


FIGURE II.1 – wireless local-area network for IOT application[21].

II.2 La norme IEEE 802.11be

IEEE 802.11be (Extremely High Throughput : EHT) est l'un des prochains amendements prévus de la norme IEEE 802.11. Cette nouvelle norme (EHT) promet une explosion des débits pouvant aller jusqu'à 46 Gbits/s, une latence moindre, ainsi qu'une meilleure gestion du réseau lorsque plusieurs appareils y sont connectés. C'est une norme successeur de la norme IEEE 802.11ax tout en utilisant les bandes de fréquences 2.4, 5 et 6 GHz. Le développement de IEEE 802.11be est en cours, avec pour objectif une

version finale de la norme attendue pour mars 2024. Les principales innovations de l'IEEE 802.11be et les fonctionnalités candidates sont données par la figure suivante :

Innovation/Cible	Débit	Réduction Interférence	Efficacité Spectrale	Application Temps-réel
EHTPHU	4090 QAM 320MHz 16*16 MU-MIMO		EHT preamble	
EDCA avec les caractéristique du 802				Backoff Rapide nouvelle catégories d'accès TXOP capturing
Amélioration de OFDMA		Preamble Puncturing	Multi-RU Liens directes	Amélioration de UORA
Fonctionnement Multi-Liens			Ecoute implicite Feedback explicite Estimation de l'etas du canale	
Optimisation de l'écoute du canal				
PHY avancé	Full duplex		HARQ	
Coordination Multi-AP		OFDMA Cordonnée	MIMO Distribué	

TABLE II.1 – Les principales innovations de l'IEEE 802.11be[9] .

II.2.1 Bande, canaux et densité

La bande 6 GHz est récemment ouverte à l'utilisation ISM. Le WiFi 7 fonctionnera désormais sur les trois bandes 2,4 GHz, 5 GHz et 6 GHz. La bande 6 GHz apporte des centaines de MHz disponibles au Wi-Fi 7.

Une autre nouveauté du WiFi 7 est l'extension de la largeur des canaux, qui passe de 80 MHz dans le WiFi 5, à 160 MHz dans le WiFi 6 et à 320 MHz sur 6 GHz dans le Wifi7 (dans la fréquence porteuse de 5.925 GHz à 7.125 GHz), soit deux fois plus qu'avec le WiFi 6. Un gain beaucoup plus élevé en débit est alors possible en doublant la bande passante. Les canaux de 320 MHz sont capables de faire transporter plus de données en même temps, et donc de délivrer de bonnes performances. La figure ci-dessous illustre un exemple de canal large 320 MHz aux US (États-Unis).

Dans ce contexte, il est approuvé qu'en plus des canaux de 320 MHz, 802.11be pourra utiliser en option des canaux 320/160+160 MHz and 240/160+80 MHz qui peuvent être formés en regroupant deux canaux non adjacentes.

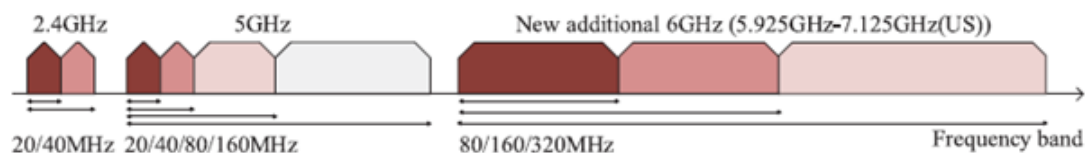


FIGURE II.2 – Les bandes de fréquences du wifi 7[13].

Par ailleurs, la QAM est quadruplée pour arriver à 4096 dans le WiFi 7, un schéma de modulation d'ordre supérieur : 4096 QAM ou 4K-QAM. Cela permet à chaque symbole OFDM de transporter 12 Bits au lieu de 10 Bits, ce qui signifie que les taux de transmission sont théoriquement 20 pourcent plus élevés que le 1024 QAM du WiFi 6. La figure illustre les modulations 1024 et 4096 QAM.

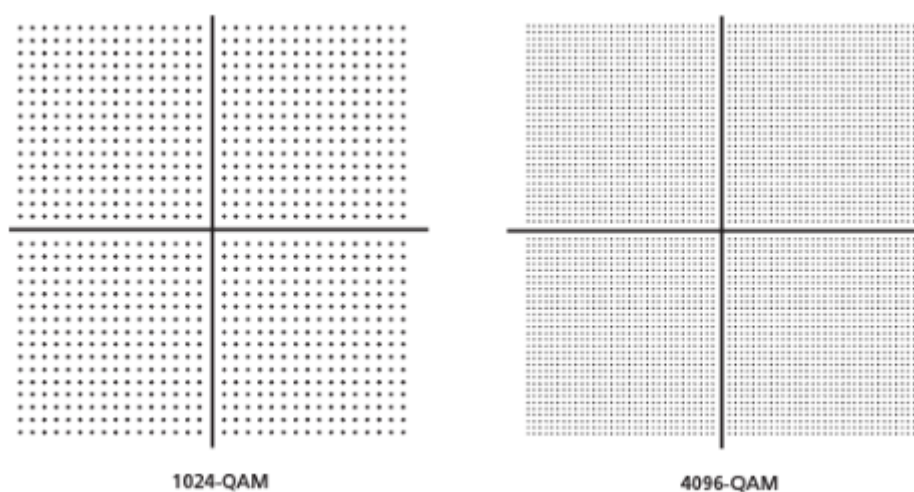


FIGURE II.3 – 1024-QAM vs 4096-QAM[13].

II.2.2 MIMO et D-MIMO

Dans le domaine spatial, les points d'accès continuent d'augmenter le nombre d'antennes afin de renforcer la capacité de multiplexage spatial. Le WiFi 7 double le nombre de flux spatiaux simultanés en passant de 8 à 16 (MIMO $16 \times 16 \times 6$) sur une liaison sans fil. Avec 16 flux, le taux de transmission théorique est ainsi doublé par rapport au WiFi 6. Donc, il permettra la communication avec jusqu'à 16 appareils sur chaque flux. Dans le cas de la MU-MIMO, Le WiFi 7 a convenu de limiter le nombre maximal d'appareils à 8, avec un nombre de flux spatiaux maximal vers chacune des appareils à 4.

D-MIMO (Distributed MIMO) ou MIMO distribué permet à divers points d'accès d'exécuter des transmissions de données conjointes vers plusieurs STAs, en partageant les ressources en temps et en fréquence. Les points d'accès D-MIMO non colocalisés effectuent une transmission et/ou une réception de données conjointes à partir de plusieurs STA en réutilisant les mêmes ressources temps/ fréquence. Par rapport aux systèmes composés de points d'accès indépendants, la collaboration étroite entre points d'accès de D-MIMO peut fournir une couverture étendue, grâce aux gains de formation de faisceaux supplémentaires, et un multiplexage spatial amélioré, car les points d'accès voisins sont transformés d'interféreurs en serveurs. La distribution vient du fait que

toutes ces antennes ne doivent pas nécessairement être sur un seul point d'accès. De ce fait, diviser ces antennes entre différents appareils signifierait une meilleure capacité à envoyer différentes données, ce qui constitue une résolution spatiale pour les réseaux à très haute densité. D-MIMO est également plus susceptible d'utiliser jusqu'à 16 flux spatiaux qui peuvent être disponibles dans 802.11be [13].

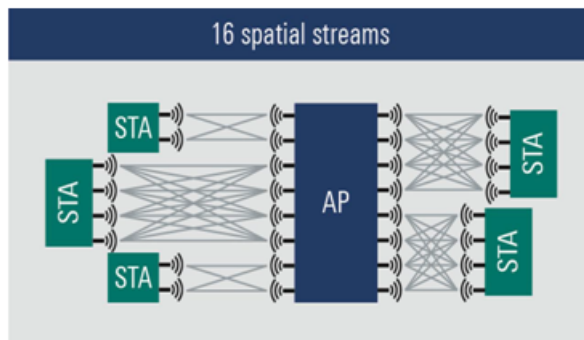


FIGURE II.4 – un exemple de la technique D-MIMO utilisant 16 flux spatiaux[13].

II.2.3 Co-OFDMA (Coordinated Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

La norme IEEE 802.11be propose l'intégration d'un nouveau mécanisme d'accès aux canaux appelé Co-OFDMA. Cette technique étend l'utilisation de l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) existant et vise à optimiser l'efficacité d'utilisation du canal à la fois en termes de temps et de fréquence. L'idée principale est que les points d'accès peuvent coordonner à l'attribution des unités de ressource (RU) disponibles à leurs stations respectives.

Avec Co-OFDMA, les points d'accès voisins ont la possibilité d'attribuer les mêmes ressources radio à certaines stations si cela n'engendre pas d'interférences. Dans le cas contraire, ils peuvent attribuer des ressources différentes afin d'éviter les interférences. Cela permet une meilleure utilisation des ressources disponibles et une réduction des collisions entre les transmissions des stations. En coordonnant l'allocation des RUs, la technique Co-OFDMA contribue à améliorer les performances et l'efficacité des réseaux sans fil [18].

II.3 L'internet des Objets

II.3.1 Définition des concepts

Nous allons définir quelques concepts :

- **Objet connecté**

Objet possédant la capacité d'échanger des données avec d'autres entités physiques ou numériques, dont la finalité première n'est pas d'être un système informatique ni une interface d'accès au web [21].

- **Internet des objets**

L'Internet des objets est un ensemble d'objets connectés et de technologies de réseaux qui se conjuguent en associant :

- Des objets physiques qui possèdent des capteurs connectés.

- Des réseaux de communication numériques filaires ou non filaires.
- Des applications de traitement des données qui engagent des processus décisionnels [2].

- **M2M** Machine to Machine, échange d'informations entre deux machines sans intervention humaine.

- **Réseaux de communications**
Utilisés pour transporter des données d'objets.
- **Cloud computing**
Fournit les outils de stockage, de corrélation et d'analyse des données (processus décisionnels capables de remonter les objets physiques).
- **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**
C'est un groupe qui travaille sur les protocoles de communication des couches physiques et de la couche lien.

II.3.2 Architectures

L'architecture IOT peut être expliquée en quatre couches[4] :

- **Couche de détection** La première étape de l'IoT comprend des capteurs, des dispositifs, des actionneurs, etc. qui collectent des données de l'environnement physique, les traitent puis les envoient sur le réseau.

- **Couche réseau** La deuxième étape de l'IoT consiste en des passerelles réseau et des systèmes d'acquisition de données. Le DAS convertit les données analogiques (collectées à partir des capteurs) en données numériques. Il effectue également la détection des logiciels malveillants et la gestion des données elle peut utiliser des technologies sans fil telles que le WIFI, Bluetooth. .etc.

- **Couche de traitement des données** La troisième étape de l'IoT est l'étape la plus importante. Ici, les données sont prétraitées sur leur variété et séparées en conséquence, elles sont traitées à cette couche pour les rendre compréhensibles et exploitable. Après cela, il est envoyé aux centres de données. Ici, Edge IT entre en service.

- **Couche d'application** La quatrième étape de l'IoT se compose de Cloud/Data Centrs où les données sont gérées et utilisées par des applications telles que l'agriculture, la défense, les soins de santé. .etc.

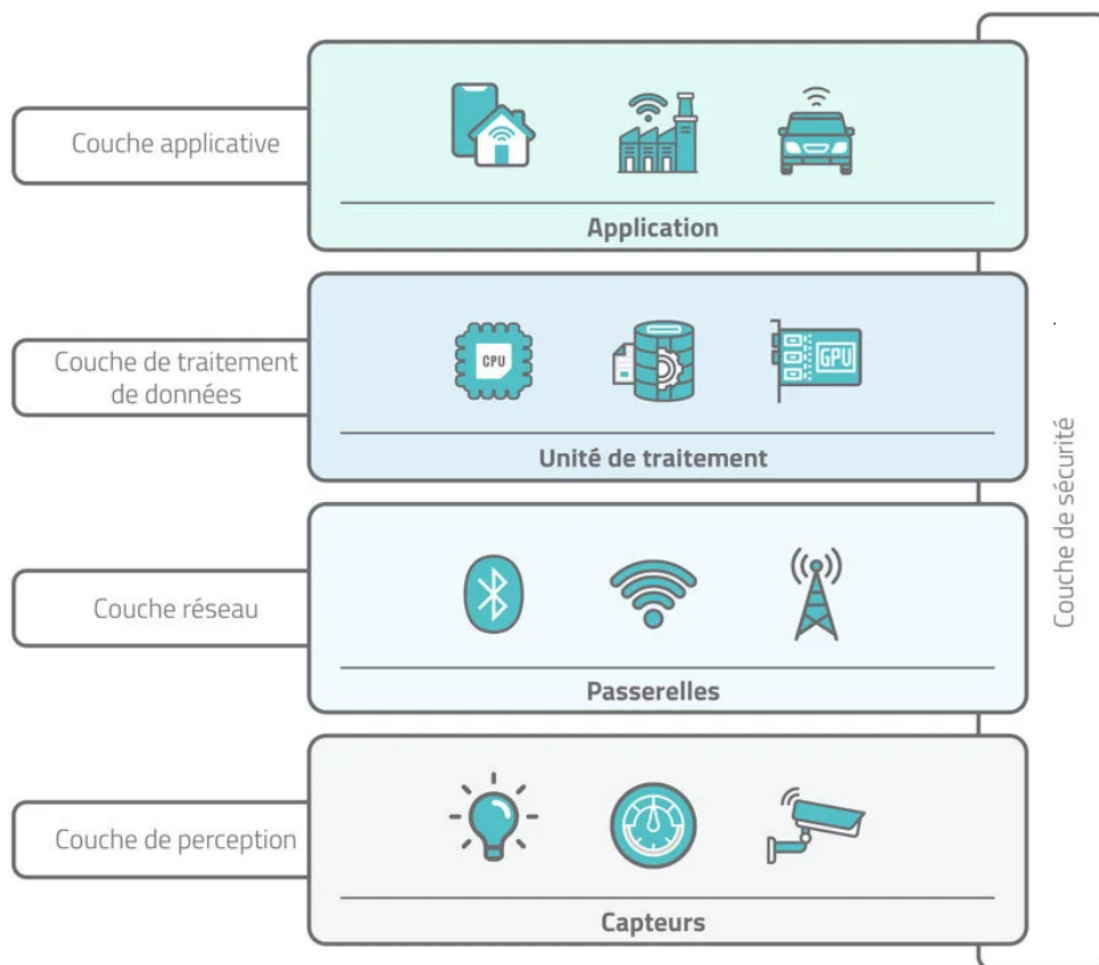


FIGURE II.5 – Couches d'architecture IOT[4].

II.3.3 Technologies utilisées

De nombreuses technologies sont utilisées dans l'IoT pour permettre la collecte, le traitement et le transfert de données entre les objets connectés et les systèmes de traitement. Voici quelques-unes des technologies les plus couramment utilisées dans l'IoT [15]

- **Les réseaux de communication sans fil** ces réseaux permettent aux objets connectés de communiquer entre eux et avec des systèmes de traitement à distance. Les technologies de réseaux sans fil courantes utilisées dans l'IoT incluent le Wi-Fi, le Bluetooth, le Zigbee, le LoRaWAN, le NB-IoT, le LTE-M, le Sigfox, etc. [sudeep tanwar] [15]
- **Intelligence artificielle (IA) conversationnelle** Les progrès effectués en matière de réseaux neuronaux ont permis aux terminaux IoT de gérer le traitement du langage naturel (avec notamment les assistants digitaux personnels tels qu'Alexa, Cortana et Siri), et les ont rendu attrayants, abordables et viables pour une utilisation domestique. [15]
- **Les plates-formes IoT** ces plates-formes permettent de gérer les objets connectés, de collecter et de stocker les données, de les analyser et de les transmettre à d'autres systèmes. Les plates-formes IoT les plus courantes incluent Microsoft Azure IoT, Amazon Web Services IoT, IBM Watson IoT, Google Cloud IoT, etc.[15]

II.3.4 Domaines d'application

Plusieurs domaines d'application sont touchés par l'IoT, Parmi ces principaux domaines nous citons : le domaine de la sécurité, le domaine du transport, l'environnement et l'infrastructure et les services publics ,etc.

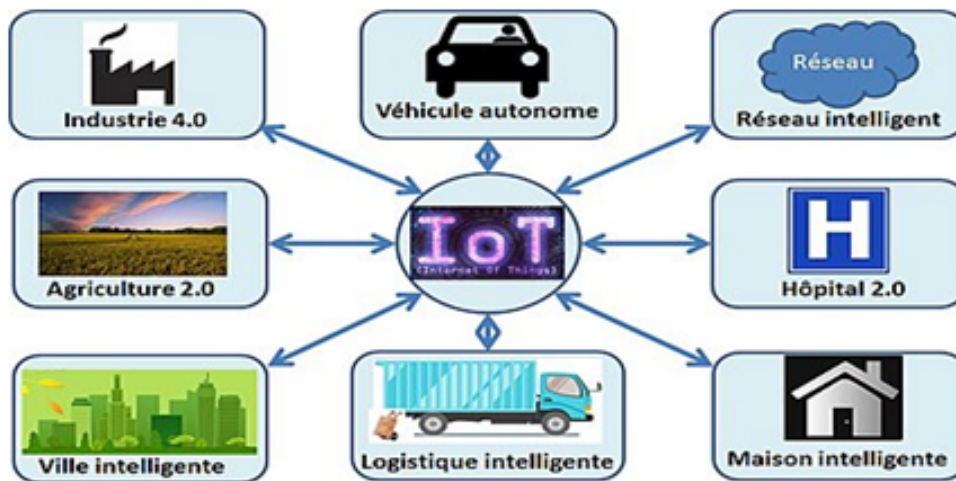


FIGURE II.6 – Les domaines de l'IOT[15]

Nous allons maintenant détailler quelques secteurs avec des exemples de projets :

- **La santé** : Le secteur de la santé a connu un très grand nombre d'applications permettant à un patient et à son docteur de recevoir des informations, parfois même en temps réels, qu'il aurait été impossible de connaître avant l'apparition d'IoT. Par exemple, (Porteuse Digital Heath) qui est la première porteuse médicale connectée grâce à un capteur directement intégré dans l'être humain qui permet après ça le suivi des patients à distance[15].
- **La domotique** : La domotique regroupe l'ensemble des technologies permettant l'automatisation des équipements d'un habitat. Elle vise à apporter des fonctions de confort : commandes à distance, gestion d'énergie (optimisation de l'éclairage et du chauffage... etc.), sécurité (comme les alarmes) et de communication (contacts et discussion avec des personnes extérieures) [15].
- **Agriculture** : L'agriculture intelligente a pour objet de renforcer la capacité des systèmes agricoles, de contribuer à la sécurité alimentaire en intégrant le besoin d'adaptation et le potentiel d'atténuation dans les stratégies de développement de l'agriculture durable. Cet objectif a été atteint enfin par l'utilisation des nouvelles technologies, telles que l'imagerie satellitaire et l'informatique, les systèmes de positionnement par satellite de comme GPS, aussi par l'utilisation des capteurs qui vont s'occuper de récolter les informations utiles sur l'état du sol, taux d'humidité, taux des sels minéraux, etc. et envoyer ces informations au fermier pour prendre les mesures nécessaires garantissant la bonne production[15].
- **Les transports** : Le nombre des véhicules intelligents sont en croissance, presque Tous les véhicules vendus aujourd'hui dans le monde renferment déjà des capteurs et de moyens de communication pour traiter la congestion du trafic, la sécurité, la pollution et le transport efficace des marchandises...etc.L'objectif est qu'une voiture soit capable de communiquer de façon autonome avec d'autres véhicules ou une centrale de surveillance pour prévenir les accidents et réduire les coûts d'assurance[15].

II.3.5 Intégration du Wifi dans l'IoT

Le réseau sans fil IEEE 802.11 (wifi) est la future norme des réseaux de communication qui peuvent mener le réseautage à un tout nouveau niveau. L'IEEE 802.11be est la prochaine étape dans l'évolution de la communication sans fil. Ce sera un élément clé de la société en réseau, et le développement des réseaux sans fil est devenu un moteur majeur de la croissance de l'Internet des objets, car les réseaux sans fil sont l'épine dorsale de l'Internet des objets.

Afin de réaliser l'intégration entre eux il faut répondre à certaines exigences qui nécessitent des changements et des améliorations dans la couche physique, et nous ce qui nous intéresse c'est la méthode UL OFDMA plus exactement l'amélioration du mécanisme UORA qui peut être utilisé pour les applications IoT qui nécessitent une allocation flexible des ressources. Il est particulièrement adapté aux applications à temps réel qui nécessitent une transmission rapide de données. [6].

II.4 Les travaux de recherche sur le WiFi dans le contexte de l'IoT

3.1. Y. Kim et al [11] ont proposé un nouveau schéma de tirage du temps OFDMA BackOff (OBO) pour améliorer l'efficacité d'utilisation des canaux dans le cas des réseaux IoT à haute densité. Dans ce schéma, chaque station pourra déterminer son compteur OBO en suivant le principe d'accès distribué au lieu d'aléatoire. Le temps OBO dépendra de l'état de transmission de la trame précédemment envoyée, c'est-à-dire l'acquittement de ce dernier est reçu ou non. L'idée du contrôle OBO proposé peut être simplement représentée comme :

$$OBO = OBO - \alpha \times M_{ru}$$

$$\alpha = \begin{cases} \min(\alpha + \delta, \alpha_{max}), & \text{on transmission success,} \\ \max(\alpha - \delta, \alpha_{min}), & \text{on transmission failure.} \end{cases}$$

Où M_{ru} est le nombre des RA-Rus et $\sigma (> 0)$ est un pas fixe pour changer la valeur de α , tandis que α_{max} et α_{min} ($0 < \alpha_{min} \leq 1 \leq \alpha_{max}$) sont les valeurs maximale et minimale de α .

Ce schéma est composé de trois principales procédures qui sont : Réception de la trame Trigger Frame (Received TF ()), ACK expiré (ACK TimeOut ()) et ACK reçu avec succès (Received ACK ()) sont décrites dans le tableau suivant :

Received TF()	ACK_TimeOut()	Receivd_ACK()
<pre> procedure RECEIVE_TF() Read the value of M_{ru} switch Scheme type do case UORA_STD or OPT_OCW OBO = OBO - M_{ru} case OBO_CTRL OBO = OBO - a_{ru} end if OBO = 0 then Access a random RU else Wait for the next trigger frame end end </pre>	<pre> procedure ACK_TIMEOUT() switch Scheme type do case UORA_STD OCW = 2 * (OCW + 1) - 1 OCW = min(OCW, OCW_{max}) case OPT_OCW OCW = Get_Opt_OCW(M_{ru}, N_{sta}) case OBO_CTRL OCW = 2 * (OCW + 1) - 1 OCW = min(OCW, OCW_{max}) a = a - d a = max(a, a_{min}) end Select a new random integer OBO (1_OBO_OCW) end </pre>	<pre> procedure RECEIVE_ACK() switch Scheme type do case UORA_STD OCW = OCW_{min} case OPT_OCW OCW = Get_Opt_OCW(M_{ru}, N_{sta}) case OBO_CTRL OCW = OCW_{min} a = a + d a = min(a, a_{max}) end Select a new random integer OBO (1_OBO_OCW) end </pre>

TABLE II.2 – Les trois procédures[11]

3.2. Y. Ahmad Qadri et al [20] ont proposé un algorithme de planification OFDMA pour les systèmes H-IoT (Healthcare Internet of Things) afin de garantir des délais de transmission courts pour les données sensibles au temps. L'algorithme proposé prend en compte la taille des fichiers d'attente de chaque AC et les transmissions antérieures des STA pour calculer une priorité pour chaque STA. Les AC à priorité élevée sont davantage pris en compte par rapport aux AC à faible priorité lors du calcul de la priorité.

L'équation ci-dessous représente le calcul mathématique de la priorité pour chaque STA :

$$Priority(STA_i) = \sum_{j=1}^4 Queue(AC_j) \times Weight(AC_j) \times TXOP_{Previous}(STA_i)$$

Où Queue(AC_j) est longuer de la fille d'attente de chaque AC ,Weight(AC_j) est le poids ou la priorité de chaque AC et TXOP_{previous}(STA_i) est l'indicateur des transmissions en rafale TXOP précédentes par cette STA La figure ci-dessous illustre l'algorithme proposé sous forme d'organigramme :

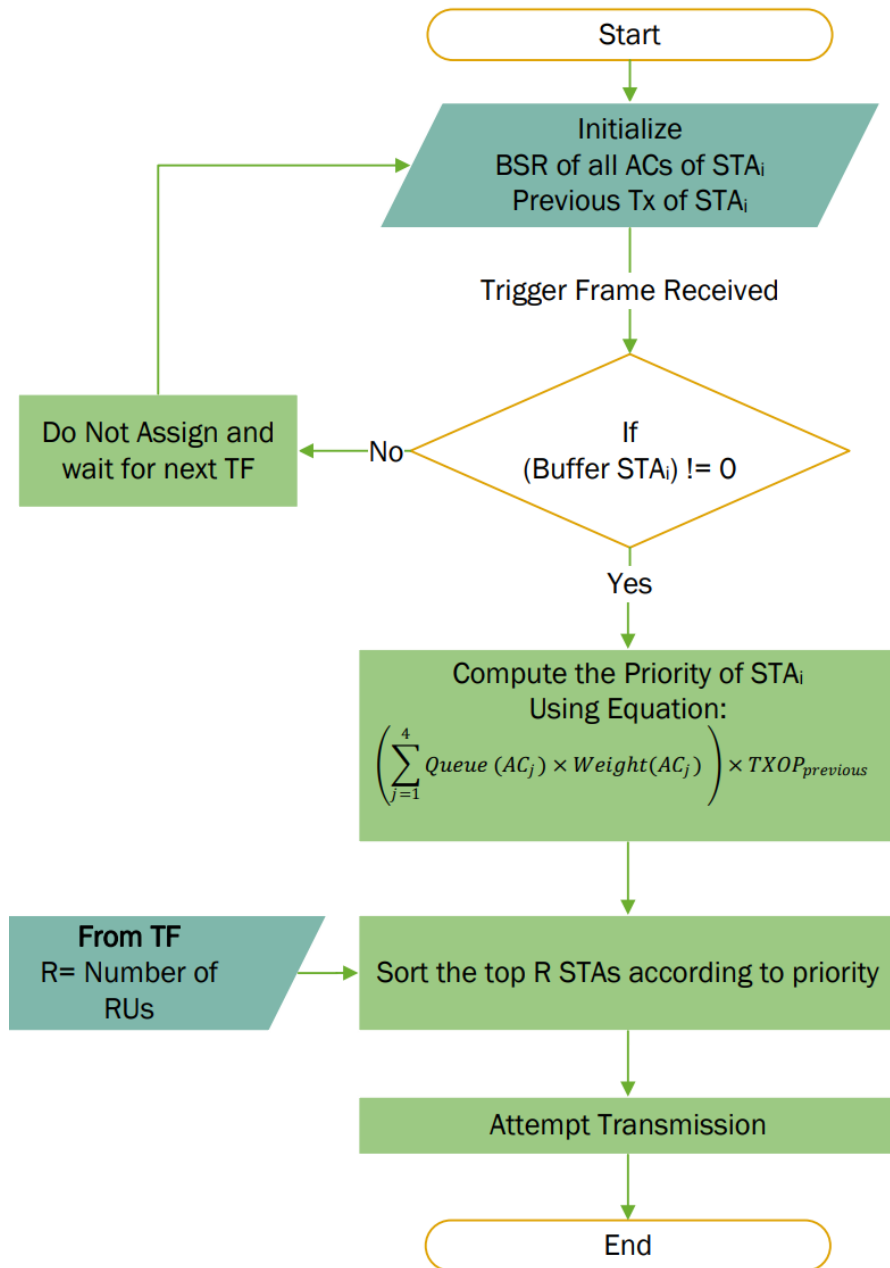


FIGURE II.7 – L’organigramme de l’algorithme proposé[20].

3.3. Annan Yang et al [23] ont proposé la méthode G-UORA comme une amélioration de l'accès aléatoire UORA dans le cadre de l'IEEE 802.11ax. Cette méthode vise à améliorer la satisfaction et l'équité des utilisateurs en optimisant l'allocation des ressources de transmission. Cette méthode comprend trois parties principales : le regroupement des STAs, le regroupement des RUs et un algorithme d'allocation de ressources basé sur l'utilité. La procédure de la méthode G-UORA est décrite comme suit :

- **L'AP diffuse régulièrement une trame appelée Beacon** qui contient des informations de regroupement des STAs. Les STAs sont attribuées des identifiants de groupe (GID) différents par l'AP, et celles qui ont le même GID appartiennent au même groupe. Si aucune information de GID n'est présente dans la trame Beacon reçue, les STAs conservent leur groupe d'origine inchangé.
- **Le cadre de commande envoyé par l'AP** contient des informations de regroupement des RUs. De manière similaire, les RUs sont attribuées des GID différents par l'AP, et ceux qui ont le même GID appartiennent au même groupe.
- **La valeur soustraite à chaque fois lors de l'utilisation de G-UORA** est la même que celle de l'UORA traditionnelle, et elle est égale au nombre total de RUs. Par exemple, dans la figure 1, cette valeur est de 9. Mais lorsqu'une STA accède au réseau, les RUs du même groupe peuvent être sélectionnés de manière aléatoire pour l'accès.
- **Pour améliorer l'utilité ou la satisfaction des utilisateurs dans le réseau** les GID des STAs et des RUs doivent être déterminés par l'algorithme d'allocation de ressources basé sur l'utilité correspondante.

Cette méthode permet de mieux allouer les ressources en fonction des besoins des utilisateurs, ce qui contribue à améliorer la satisfaction et l'efficacité du réseau.

3.4. Zhaozhe Jiang et al [8] ont proposé un schéma de garantie de latence basé sur l'OFDMA pour l'accès aléatoire dans les réseaux WLAN, en particulier dans la norme IEEE 802.11be. L'algorithme proposé utilise une trame de déclenchement (TF) pour réserver dynamiquement des unités de ressources (RUs) appropriées pour le trafic sensible à la latence. L'estimation du nombre de STAs ayant des données sensibles à la latence (ME) est réalisée en utilisant des informations sur les RUs choisies par les STAs et le nombre de paquets reçus. Une fois le ME estimé, ils proposent d'allouer le nombre optimal de RUs NDS aux STAs sensibles à la latence pour maximiser l'efficacité d'accès.

Ci-dessous les Procédures de l'algorithme proposé.

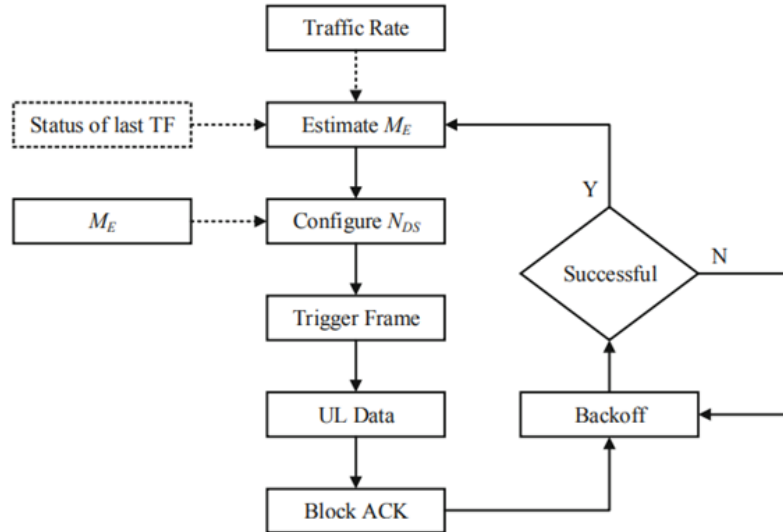


FIGURE II.8 – Schéma de garantie de latence basé sur l’OFDMA proposé[8] .

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons examiné l’état de l’art du WiFi 7 et de l’IoT. Nous avons exploré l’importance croissante de l’IoT dans la connectivité et l’innovation, ainsi que le rôle crucial du WiFi en tant que réseau d’accès direct à Internet. Le WiFi 7 a été présenté comme une extension du WiFi 6 offrant des performances améliorées, une faible latence et des débits de données plus rapides, en exploitant la bande de fréquence 6 GHz. Nous avons souligné que le WiFi 7 offre une connectivité hautement performante et une large bande passante, ce qui est essentiel pour exploiter pleinement le potentiel de l’IoT. reformule ce texte

Proposition et évaluation de performance

III.1 Introduction

Dans le domaine des réseaux sans fil, l'allocation efficace des ressources et la gestion du trafic sont des aspects essentiels pour assurer des performances optimales et une utilisation efficiente du spectre. L'UORA, une méthode largement utilisée dans ce contexte, propose une approche opportuniste basée sur l'allocation aléatoire des ressources. Cependant, malgré ses avantages, l'UORA présente certaines limites, notamment en termes de taux de collision et de débit. Afin de pallier ces limitations, des recherches ont été menées pour améliorer l'UORA en proposant des méthodes plus efficaces et optimisées. L'une de ces améliorations prometteuses est la méthode e-UORA (Enhanced UORA). La méthode e-UORA vise à optimiser l'allocation des ressources et à réduire les collisions, tout en améliorant le débit global du réseau.

Dans ce chapitre, nous examinerons en détail l'UORA et sa limitation en termes de taux de collision et de débit. Nous présenterons ensuite la méthode e-UORA comme une solution prometteuse pour améliorer les performances du système.

III.2 Problématique et motivations

Fonctionnement de l'UORA : L'UORA est une méthode d'accès opportuniste largement utilisée dans les réseaux sans fil. Son fonctionnement repose sur l'allocation aléatoire des ressources, ce qui permet aux nœuds du réseau d'accéder aux canaux de communication de manière opportuniste, en fonction de la disponibilité des ressources et des contraintes du système. [10]

ci-dessous le diagramme de l'UORA :

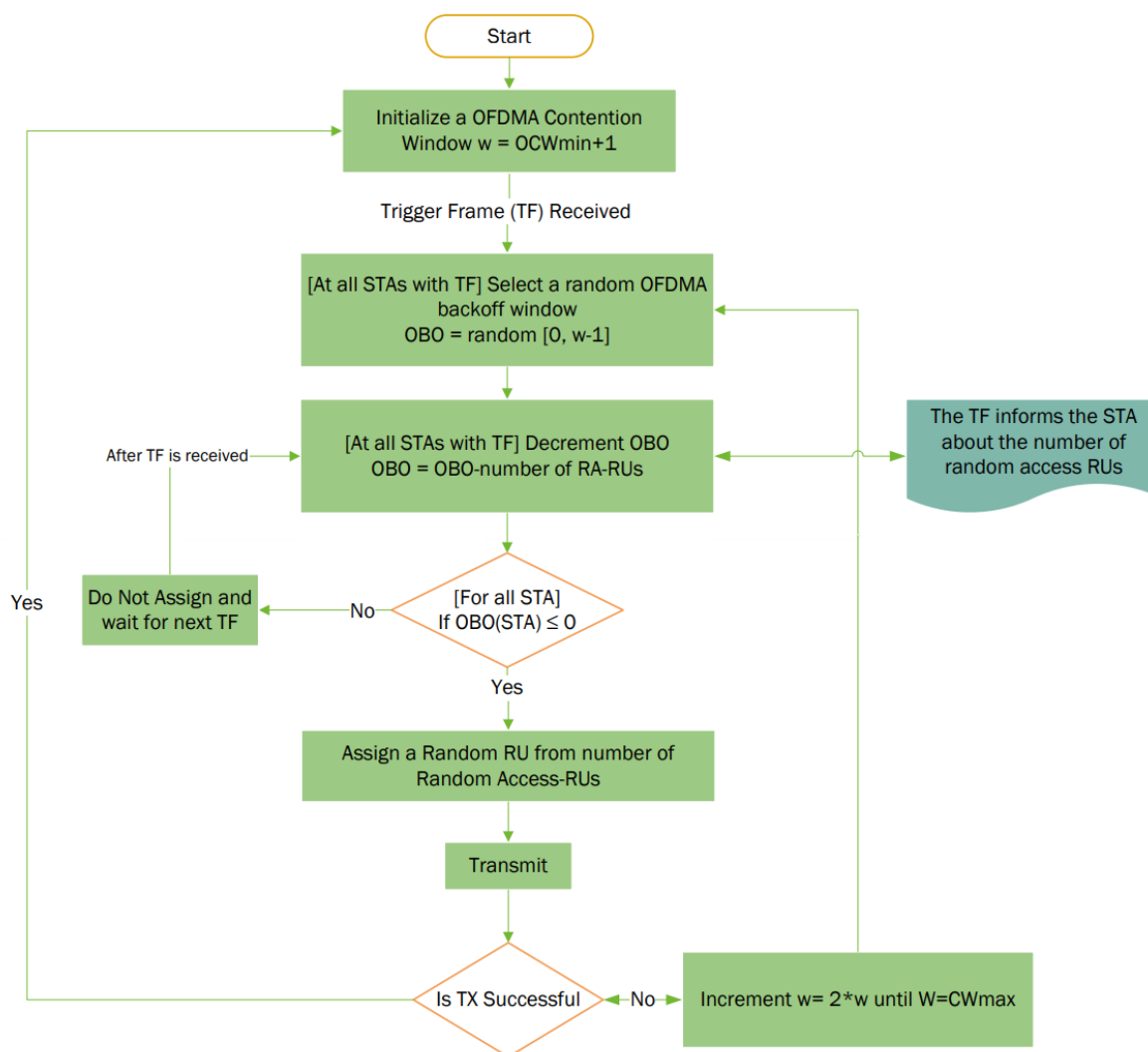


FIGURE III.1 – Organigramme de l’UORA[10].

Inconvénient de l’UORA L’UORA présente certains inconvénients qui peuvent limiter ses performances dans les réseaux sans fil. Voici quelques-uns des principaux inconvénients de l’UORA :

Taux de collision élevé : En raison de l’allocation aléatoire des ressources, il existe un risque élevé de collisions, c’est-à-dire lorsque plusieurs nœuds tentent d’accéder aux mêmes ressources simultanément. Les collisions entraînent une perte de temps et de ressources, ce qui réduit l’efficacité du système et peut entraîner une dégradation du débit.

Faible garantie de qualité de service : L’UORA ne propose pas de mécanismes avancés pour garantir la qualité de service (QoS) pour différents types de trafic. En l’absence de mécanismes de priorisation ou de différenciation des services, les applications sensibles à la latence ou nécessitant une bande passante garantie peuvent être affectées négativement.

Difficulté à gérer les grands réseaux : Dans les réseaux de grande taille avec un grand nombre de nœuds, l’UORA peut rencontrer des difficultés de gestion en raison de la complexité de l’allocation des ressources et de la gestion des

collisions. La coordination entre les nœuds devient plus difficile, ce qui peut entraîner une dégradation des performances globales du réseau.

Problématique Comment minimiser les collisions dans les systèmes de communication tout en optimisant l'allocation des ressources unitaires (RU) et en maximisant le débit du réseau ?

III.3 Proposition d'une nouvelle méthode d'allocation des ressources

La proposition e-UORA (Enhanced UORA) est une amélioration de l'algorithme UORA qui vise à résoudre le problème de collision en améliorant le taux d'allocation des RUs à accès aléatoire et le débit.

Dans UORA, lorsqu'une station avec un OBO Supérieur a 0 elle doit attendre jusqu'à la réception d'une nouvelle TF, de plus, lorsqu'une station échoue à la transmission d'une trame de donnée celle-ci doit doubler d'abord sa fenêtre de contention avant de passer au cycle suivant. Dans notre méthode on a amélioré la stratégie d'allocation des RUs. On a introduit un temps T_s qui doit être tiré aléatoirement dans l'intervalle $[1, RARU-1]$. Dans ce cas la station entrant en collision pour une RU n'a pas à doubler sa OCW mais à attendre une durée T_s cela permet d'éviter les collisions entre les stations ?

- Une seule station avec $T_s=0$ est une station qui a gagné l'accès à la RU avec succès
- Toutes les stations avec $T_s=0$ sont en collisions.
- Si une station ;durant l'écoute de la RU, détecte que la RU n'est plus libre, elle doit dans ce cas attendre une nouvelle TF et tirer une nouvelle RU.

Ci-dessous le diagramme de la méthode e-UORA :

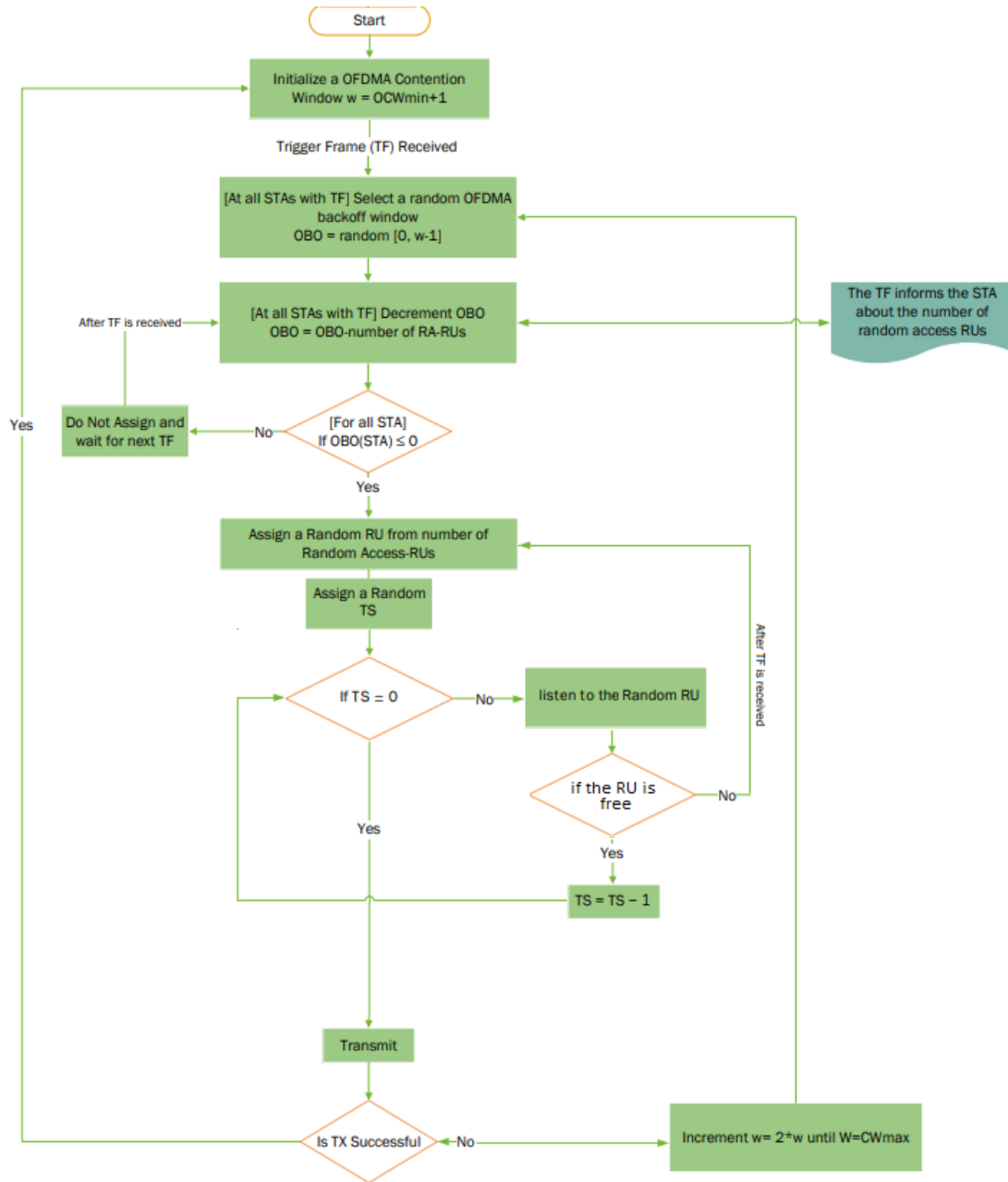


FIGURE III.2 – L’organigramme d’e-UORA.

III.4 Simulation, résultats et interprétations

III.4.1 présentation du simulateur

Notre simulation a été réalisée en utilisant Matlab, un langage de programmation de haut niveau. Il permet aux utilisateurs de créer des scripts, des fonctions et des programmes pour résoudre des problèmes mathématiques et scientifiques. Grâce à sa syntaxe intuitive et à sa vaste bibliothèque de fonctions, Matlab facilite le développement de notre simulation.

III.4.2 Le fonctionnement d'e-UORA

1. Chaque station a déjà choisi un RARU (Random Access Resource Unit), et en plus, elle ajoute un temps supplémentaire qui varie entre 1 et RARU-1.
2. Si la station a choisi un temps supplémentaire (TS) égal à 0, elle transmet immédiatement et passe aux étapes suivantes du processus.
3. Si la station a choisi un TS différent de 0, elle écoute la RARU pour vérifier si elle est libre.
4. Si la RARU est libre, la station décrémente le TS et reteste s'il est égal à 0. Si le TS est égal à 0, elle transmet. Sinon, elle attend une autre TF.

En résumé, l'e-UORA introduit un élément de randomisation supplémentaire (le temps supplémentaire, TS) pour les stations qui ont déjà choisi un RARU. Ce TS introduit une variation dans le moment où les stations tentent d'accéder aux ressources, contribuant ainsi à répartir plus équitablement l'accès entre les stations concurrentes.

III.4.3 Les paramètres de simulation et analyse des résultats

Les paramètres de notre simulation, que nous avons utilisés pour évaluer les performances, sont définis dans le tableau. Nos simulations ont été développées en prenant en compte un canal de transmission de 20 MHz capable d'accueillir simultanément jusqu'à 9 utilisateurs. Les détails des paramètres spécifiques que nous avons utilisés dans notre simulation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Paramètre	Signification	Valeur
Chanel Bandwidth	Largeur de la bande passante	20MHz
OCWmin	OFDMA Contention window mimimum	7
OCWmax	OFDMA Contention window maximum	31
OBO	OFDMA Backoff	[0,31]
TF	Trigger frame	au moins 28 bits
RU	Ressource Unite	26 sous porteuses
RARU	Random Access-Resource Unite	[1,9]
TS	temps suplimentaire	[0,RARU-1]
Dr	Data rate	14.7Mb/s
Nss	Number of spatial stream	1
GI	Guard interval	0.8 μs

TABLE III.1 – les paramètres de simulation

Dans notre étude comparative entre les méthodes UORA et e-UORA, nous avons réalisé trois analyses pour évaluer leurs performances. Voici un résumé des points clés que nous avons examinés :

- L'impact du nombre de RU aléatoire et de station sur le taux de collision.
- L'impact du nombre de RU aléatoire et de station sur le taux d'allocation.
- L'impact du nombre de RU aléatoire et de station sur le débit.

III.4.4 L'impact des RU aléatoire et le nombre de station sur le taux de collusion

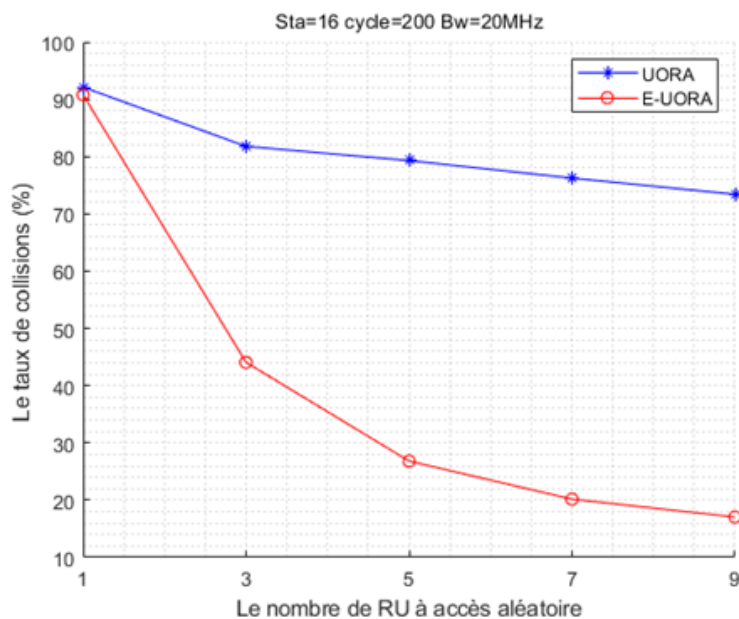


FIGURE III.3 – L'impact du nombre de RUs a accès aléatoire sur le taux de collision.

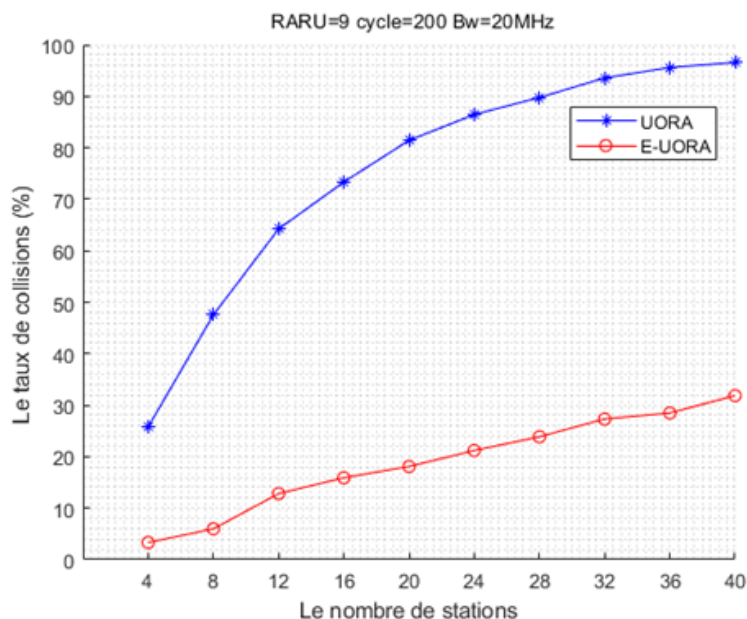


FIGURE III.4 – L’impact du nombre de station sur le taux de collision.

Dans notre première étude comparative, nous avons analysé les variations du taux de collision en fonction du nombre de ressources unitaires (RU) à accès aléatoire pour les méthodes UORA et e-UORA. Nous avons également analysé l’impact du nombre de stations sur ce taux de collision.

Les résultats de la Figure III.3 indiquent que, pour une configuration de $RARU=1$, les taux de collision sont similaires pour les deux méthodes. Cependant, à partir de $RARU=3$, une différence significative apparaît, montrant une diminution plus marquée du taux de collision pour la méthode e-UORA par rapport à la méthode UORA. Par exemple, pour $RARU=9$, le taux de collision est de 18% pour e-UORA et de 74% pour UORA. Ces résultats mettent en évidence l’efficacité supérieure de la méthode e-UORA dans la réduction des collisions.

Dans figure III.4, nous avons examiné l’impact du nombre de stations sur le taux de collision pour les méthodes e-UORA et UORA. Pour un nombre de stations égal à 4, e-UORA affiche un taux de collision de 4%, tandis que UORA atteint 26%. À mesure que le nombre de stations augmente, les taux de collision augmentent pour les deux méthodes, mais avec des tendances différentes. Pour 40 stations, e-UORA présente un taux de collision de 32% tandis qu’UORA atteint 96%.

Nos études comparatives démontrent que la méthode e-UORA offre des performances supérieures en termes de réduction des collisions par rapport à la méthode UORA.

III.4.5 L’impact des RU aléatoire et le nombre de station sur le taux d’allocation

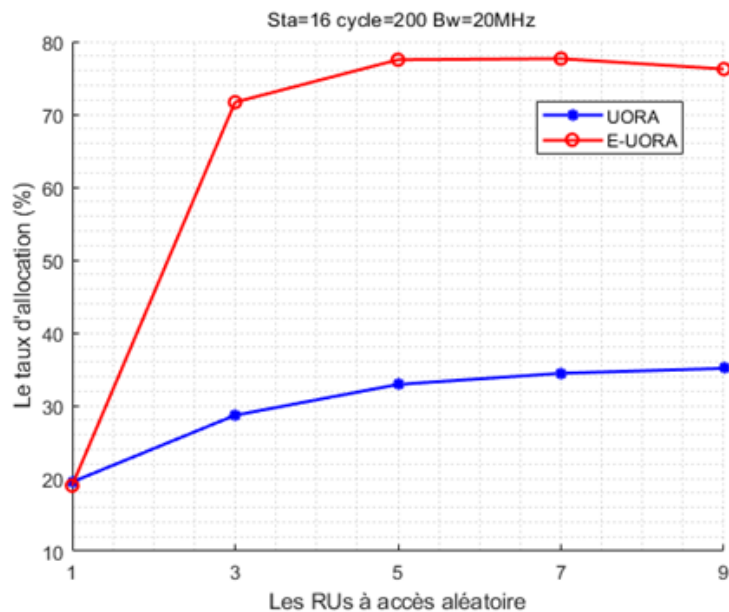


FIGURE III.5 – L'impact du nombre de RUs a accès aléatoire sur le taux d'allocation.

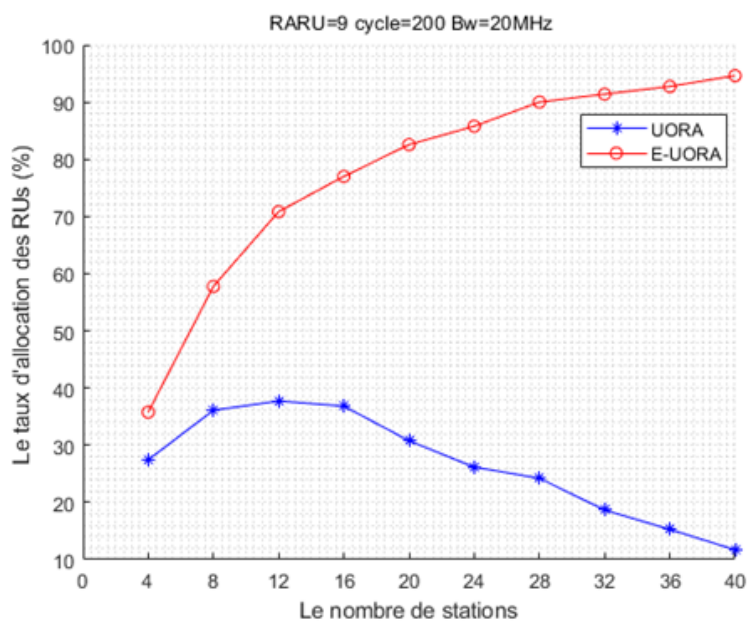


FIGURE III.6 – L'impact du nombre de station sur le taux d'allocation.

Dans les figures III.5 et III.6, nous présentons la variation du taux d'allocation des ressources unitaires (RU) à accès aléatoire en fonction du nombre de RU à accès aléatoire, puis en fonction du nombre de stations.

Dans la figure III.5, pour une configuration de RARU=1, les deux méthodes, e-UORA et UORA, affichent le même taux d'allocation. Cependant, pour RARU=3, une différence significative est observée. La méthode e-UORA atteint un taux d'allocation de 72%, tandis que la méthode UORA atteint seulement 28%. L'écart entre les deux méthodes se creuse davantage pour RARU=9, où le taux d'allocation est de 76% pour e-UORA et de 38% pour UORA.

Dans la figure III.6, nous avons examiné le taux d'allocation des ressources unitaires

à accès aléatoire en fonction du nombre de stations. Les résultats révèlent les différences significatives entre les deux méthodes. Pour un nombre de stations égal à 4, le taux d'allocation est de 36% pour la méthode e-UORA et de 27% pour la méthode UORA. Ce taux d'allocation augmente progressivement à mesure que le nombre de stations augmente. Par exemple, pour 12 stations, e-UORA atteint un taux d'allocation de 72%, tandis que UORA atteint 38%. Ce qui est remarquable, c'est que la méthode e-UORA continue d'améliorer son taux d'allocation à mesure que le nombre de stations augmente. Elle parvient à atteindre un taux d'allocation de 96% pour 40 stations. En revanche, la méthode UORA son taux d'allocation diminue pour atteindre 12% pour le même nombre de stations. Ces résultats mettent en évidence l'efficacité de la méthode e-UORA dans l'allocation des ressources unitaires

III.4.6 L'impact des RU aléatoire et le nombre de station sur le débit

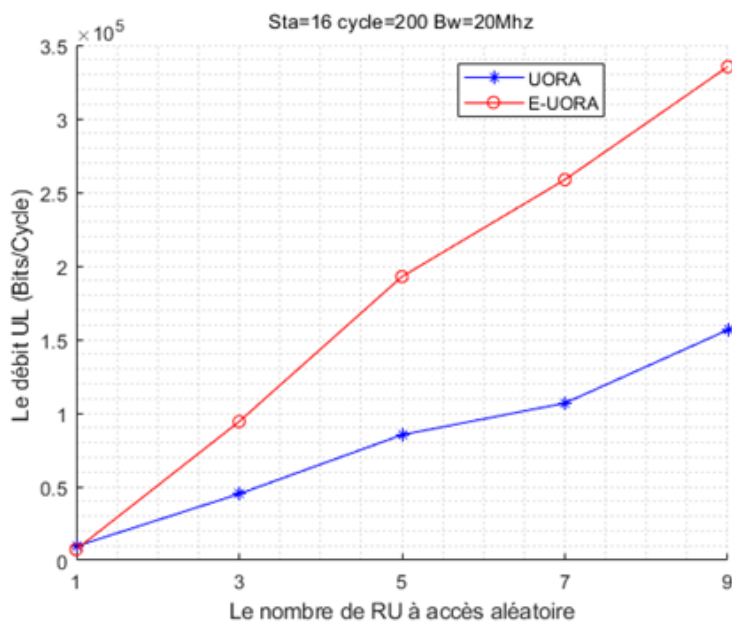


FIGURE III.7 – L'impact du nombre de RUs a accès aléatoire sur le débit.

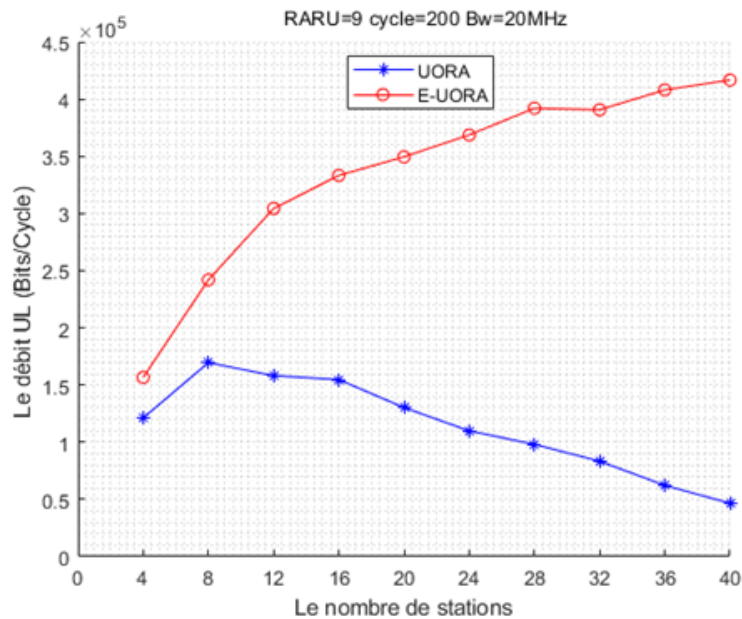


FIGURE III.8 – L'impact du nombre de station sur le débit.

Dans les figures III.7 et III.8 on observe les variations du débit pour les deux méthodes en fonction du nombre de RUs à accès aléatoire ensuite en fonction de nombre de stations.

Concernant la figure III.7, nous avons constaté que le débit était similaire pour une configuration de $RARU=1$. Cependant, à partir de la troisième valeur de $RARU$, nous avons observé une augmentation du débit, mais avec des différences notables entre les deux méthodes. Plus précisément, pour $RARU=9$, la méthode e-UORA a présenté un débit de $3,4 \times 10^5$ bits/cycle, tandis que la méthode UORA a atteint un débit de $1,6 \times 10^5$ bits/cycle.

Dans la figure III.8, on voit que pour un nombre de stations égal à 4, le débit est de $1,6 \times 10^5$ bits/cycle pour la méthode e-UORA, tandis qu'il est de $1,2 \times 10^5$ bits/cycle pour la méthode UORA. Par la suite, le débit augmente pour les deux méthodes jusqu'à ce que le nombre de stations atteigne 8, et il continue ensuite d'augmenter progressivement pour e-UORA. Finalement, pour 40 stations, la méthode e-UORA atteint un débit de $4,2 \times 10^5$ bits/cycle, tandis que le débit de la méthode UORA diminue pour atteindre $0,5 \times 10^5$ bits/cycle. La méthode e-UORA affiche généralement des débits plus élevés, ce qui souligne son efficacité dans l'allocation des ressources et la gestion du trafic dans les réseaux.

III.5 Conclusion

En conclusion, le chapitre a examiné l'algorithme UORA et sa proposition d'amélioration, e-UORA, dans le contexte de la résolution du problème de collision et de l'optimisation du taux d'allocation des ressources unitaires à accès aléatoire. L'algorithme UORA présente certains inconvénients en termes de collisions et de débit de données. Cependant, grâce à l'amélioration apportée par e-UORA, ces problèmes sont atténués et les performances du système sont améliorées. La proposition e-UORA offre une approche plus efficace pour gérer les collisions en optimisant l'allocation des RUs à accès aléatoire. Elle permet d'améliorer le taux d'allocation des RUs et d'augmenter les débits de transmission. Les résultats obtenus montrent une diminution significative des

collisions et une augmentation des débits, ce qui confirme l'efficacité de cette proposition. En adoptant e-UORA, les systèmes de communication peuvent bénéficier d'une meilleure utilisation des ressources, d'une réduction des perturbations dues aux collisions et d'une amélioration des performances globales. Cela ouvre la voie à de nombreuses applications dans divers domaines, tels que les réseaux sans fil, les systèmes de communication à haute densité et les réseaux IoT. En somme, l'algorithme e-UORA représente une solution prometteuse pour améliorer les performances des systèmes de communication en résolvant le problème des collisions. Son utilisation peut conduire à des réseaux plus efficaces et fiables, offrant une meilleure expérience utilisateur et ouvrant de nouvelles possibilités pour les technologies de communication avancées.

Conclusion Générale

En conclusion générale, ce mémoire a exploré différents aspects des réseaux sans fil, du Wi-Fi 7 et de l'optimisation des ressources dans le contexte de l'IEEE 802.11 et de l'Internet des objets (IoT).

Dans la première partie, nous avons examiné les normes de communication sans fil IEEE 802.11, en mettant l'accent sur les couches physique (PHY) et de contrôle d'accès au support (MAC). Nous avons identifié les principales méthodes et fonctions utilisées dans ces couches pour assurer des communications sans fil efficaces et fiables.

La deuxième partie s'est concentrée sur le Wi-Fi 7 et son rôle dans l'IoT. Nous avons souligné l'importance croissante de l'IoT dans la connectivité et l'innovation, ainsi que le potentiel du Wi-Fi en tant que réseau d'accès direct à Internet. Le Wi-Fi 7, en tant qu'extension du Wi-Fi 6, offre des performances améliorées, une faible latence et des débits de données plus rapides, ce qui permet d'exploiter pleinement le potentiel de l'IoT.

Enfin, la troisième partie a abordé l'algorithme UORA et son amélioration proposée, e-UORA, pour résoudre le problème de collision et optimiser l'allocation des ressources dans les réseaux sans fil. Nous avons souligné les limitations de l'algorithme UORA en termes de collisions et de débit, et présenté la méthode e-UORA comme une solution prometteuse pour améliorer les performances du système. Les résultats obtenus ont démontré une diminution significative des collisions et une augmentation des débits, validant ainsi l'efficacité de cette proposition.

En conclusion, ce mémoire a abordé des aspects essentiels des réseaux sans fil, du Wi-Fi 7 et de l'optimisation des ressources. Il a mis en évidence les méthodes et les fonctions clés utilisées dans les normes de communication sans fil, souligné l'importance du Wi-Fi 7 dans le contexte de l'IoT, et présenté l'amélioration de l'algorithme UORA grâce à la méthode e-UORA. Ces travaux contribuent à l'évolution continue des réseaux sans fil et de l'IoT, offrant ainsi de nouvelles possibilités pour les technologies de communication avancées et ouvrant la voie à des réseaux plus efficaces, fiables et performants.

Résumé

Dans ce mémoire de Master, nous nous sommes intéressés aux réseaux locaux sans fil WiFi dans le contexte de l'IoT. Nous avons étudié et proposé une version améliorée de la technique de transmission OFDMA Uplink à accès aléatoire ou UORA (UL OFDMA Random Access) appelée E-UORA (Enhanced UORA) pour les application temps réel. Nous avons implémenté, simulé et évalué les performances de UORA et de notre méthode proposée E-UORA en utilisant le langage MATLAB. Cette étude a été réalisée en calculant trois métriques à savoir : le débit, le taux d'allocation et le taux de collisions, et en variant plusieurs paramètres qui sont : le nombre de stations et le nombre d'unités de ressources RU à accès aléatoire. Les résultats de simulation montrent que notre méthode E-UORA améliore significativement la stratégie l'allocation des Rus, le débit et le taux d'allocation des RUs de plus de 50 % en comparaison à la méthode UORA.

Mots clés : WLANs, IoT, UORA, Simulation, Evaluation

Abstract : In our Master's Thesis, we are interested in wireless local area networks or WiFi in the context of IoT. We have studied and proposed an enhanced version of UORA named E-UORA or Enhanced UORA for real time applications. We have implemented, simulated and evaluated UORA and E-UORA methods under MATLAB Language. The study is released by calculating three performance metrics : throughput, allocation rate and collision rate by varying the parameters of number of stations and number of Random Access Ressource Units. The simulation results show that our E-UORA method significantly improves the Rus allocation strategy, throughput and the RUs allocation rate by more than 50% compared to the UORA method.

Key words : WLANs, IoT, UORA, Simulation, Evaluation

Bibliographie

- [1] Optimisation de la longueur de trame pour les réseaux locaux sans fil en duplex intégral dans la bande. In *21e Conférence Asie-Pacifique sur les communications, APCC 2015, Kyoto, Japon, 14-16 octobre 2015*, pages 354–358, . doi : 10.1109/APCC.2015.7412538. URL <https://doi.org/10.1109/APCC.2015.7412538>.
- [2] Sécurité des communications iot basse consommation : sur les performances de DTLS et TLS 1.3. *CoRR*, abs/2011.12035, . URL <https://arxiv.org/abs/2011.12035>.
- [3] Vers un contrôle efficace et coordonné des communications radio en duplex intégral dans les réseaux locaux sans fil à haut rendement. *Int. J. Commun. Syst.*, 35, . doi : 10.1002/dac.5165. URL <https://doi.org/10.1002/dac.5165>.
- [4] E. Board. Introduction à l'internet des objets. *Iste OpenScience*, 2(1) :1–8, 2018. URL https://www.openscience.fr/IMG/pdf/iste_ido18v2n1_1.pdf.
- [5] S. Brahmi and M. Yazid. Towards a fair allocation and effective utilization of resource units in multi-user w lans-based ofdma technology. *Computer Networks*, 224 :109639, 02 2023. doi : 10.1016/j.comnet.2023.109639.
- [6] E. Bruse. Internet of things : Definition, applications and comparison of wifi-based communication protocols for implementation of an irrigation system. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*, 1(7) :262–266, 2015.
- [7] A. Géron. *WiFi professionnel : la norme 802.11, le déploiement, la sécurité*. Dunod, Paris, France, 3rd edition, 2009. ISBN 978-2-10-054183-6.
- [8] Z. Jiang, B. Li, M. Yang, and Z. Yan. Latency oriented ofdma random access scheme for the next generation wlan : Ieee 802.11be. *arXiv preprint arXiv :2106.03522*, 2021.
- [9] E. KHOROV. Current status and directions of ieee 802.11be, the future wi-fi 7. *Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences*, 2020(1) :1–13, 2021.
- [10] Y. Kim, L. Kwon, and E.-C. Park. OFDMA backoff control scheme for improving channel efficiency in the dynamic network environment of IEEE 802.11ax WLANs. *Sensors*, 21(15) :5111, July 2021. doi : 10.3390/s21155111. URL <https://doi.org/10.3390/s21155111>.
- [11] Y. Kim, L. Kwon, and E.-C. Park. Ofdma backoff control scheme for improving channel efficiency in the dynamic network environment of ieee 802.11ax w lans. *Sensors*, 21(15) :5111, 2021. doi : 10.3390/s21155111.

- [12] F. Launay. Blog univ-poitiers - ofdm. <https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/tag/ofdm/>, consulté le 16 mai 2023.
- [13] R. Liao, B. Bellalta, T. M. Cao, J. Barcelo, and M. Oliver. Uni-MUMAC : A unified down/up-link MU-MIMO MAC protocol for IEEE 802.11ac WLANs. *Wireless Networks*, 21(5) :1457–1472, 2015. doi : 10.1007/s11276-014-0823-3.
- [14] Malekal. Les canaux wifi et la bande de fréquence 2.4 ghz / 5 ghz. <https://www.malekal.com/les-canaux-wifi-et-la-bande-de-frequence-2-4-ghz-5-ghz/>, consulté le 16 mai 2023.
- [15] Oracle Corporation. What is iot? <https://www.oracle.com/dz/internet-of-things/what-is-iot/#:~:text=Les%20applications%20IoT%20utilisent%20des,capteurs%20connect%C3%A9s%20dans%20le%20cloud.> Consulté le 16 mai 2023.
- [16] J. Park, M. Kim, H. Kim, and J. Kim. Un algorithme de détection mimo haute performance pour dl mu-mimo avec des erreurs pratiques dans les systèmes ieee 802.11ac. In *24e Symposium international annuel de l'IEEE sur les communications radio personnelles, intérieures et mobiles, PIMRC 2013*, Symposium international IEEE sur les radiocommunications personnelles, intérieures et mobiles, PIMRC, pages 78–82. IEEE, 2013. ISBN 6666108. doi : 10.1109/PIMRC.2013.6666108.
- [17] M. Park. IEEE 802.11ac : Dynamic bandwidth channel access. In *Proceedings of the International Conference on Communications (ICI)*, pages 1–5, 2011.
- [18] G. Pedone. *Implementation and Optimization of Techniques of Level WiFi Redundancy Application*. PhD thesis, University Name, Year.
- [19] Pressbooks. Modes de fonctionnement. URL <https://pressbooks.pub/wifi/chapter/modes-de-fonctionnement/>.
- [20] Y. Qadri, Zulqarnain, A. Nauman, A. Musaddiq, E. Garcia-Villegas, and S. Kim. Preparing wi-fi 7 for healthcare internet-of-things. *Sensors*, 22 :6209, 2022. doi : 10.3390/s22166209.
- [21] A. Serial. Internet of things. <https://www.lirmm.fr/~serial/uploads/Enseignement/iot.pdf>, Year. Accessed : Month Day, Year.
- [22] Y. Xiao and Y. Pan. *Emerging Wireless LANs, Wireless PANs, and Wireless MANs : IEEE 802.11, IEEE 802.15, 802.16 Wireless Standard Family*. Wiley, 1st edition, 2009. ISBN 0471720690 9780471720690.
- [23] A. Yang, B. Li, M. Yang, Z. Yan, and Y. Xie. Utility optimization of grouping-based uplink ofdma random access for the next generation wlangs. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2021(1) :1–13, 2021.