



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد حمزة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakdhar-EL OUED

كلية التكنولوجيا

Faculté de technologie

قسم الهندسة الكهربائية

Département de génie électrique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en génie électrique

Spécialité : système et télécommunication

THEME

Ètude et simulation du système MIMO à Formation de faisceaux

Présenté Par :

M^{elle} : REZGA Safa

M^{elle} : YAHIA Hana

Devant le jury composé de :

Président	Mr. LAKHDAR Nacereddine	U. El-Oued
Examineur	Mr. BOULILA Mohamed	U. El-Oued
Encadreur	Mr. AJGOU Riadh	U. El-Oued

Remerciements

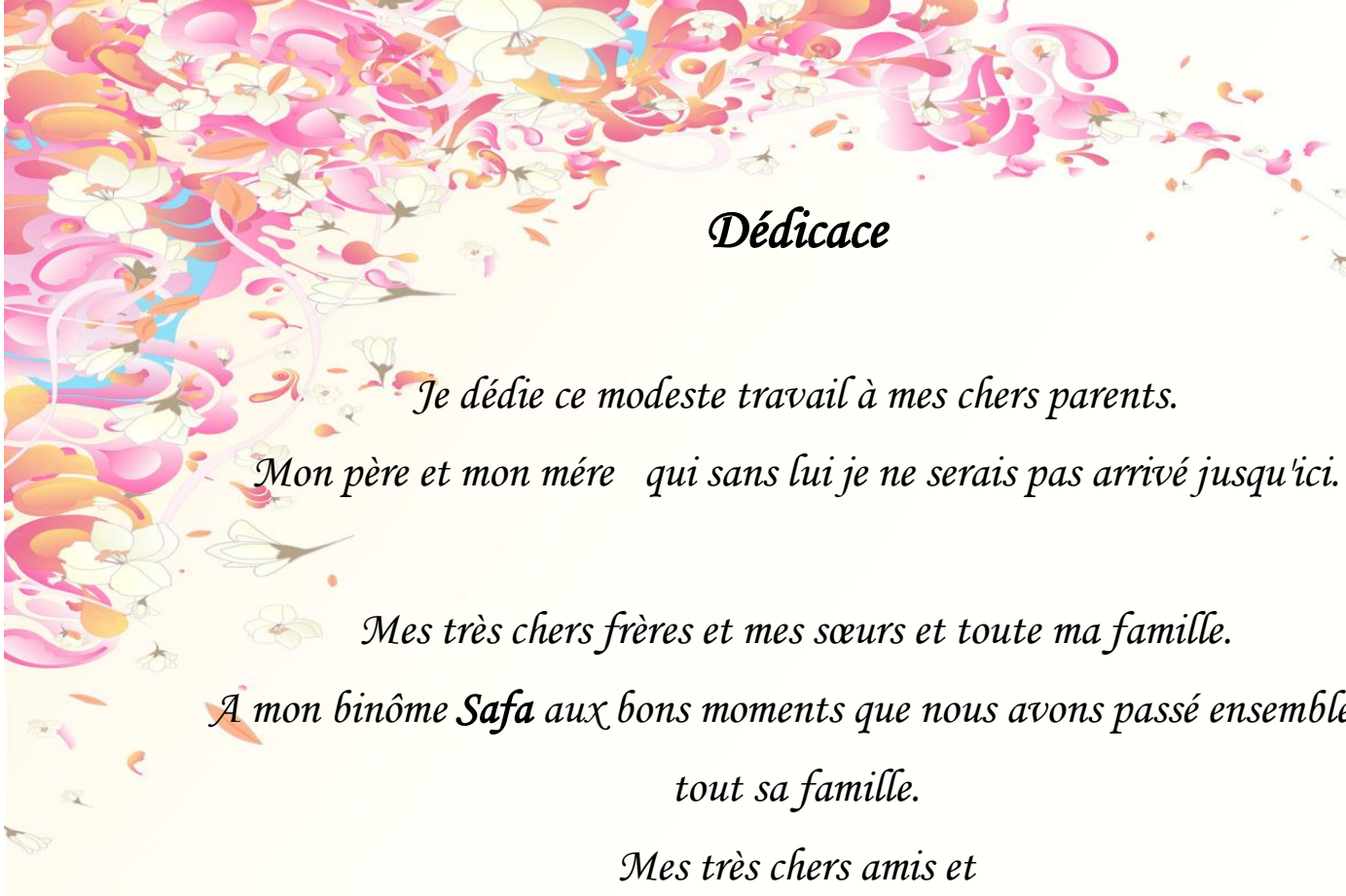
Tout d'abord, tout remerciement et louange à notre Dieu 'ALLAH' le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

*Ce travail a été effectué sous l'encadrement de **Dr. AJGOU Riadh**, à qui nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance, pour nous avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques*

*Nous remercions vivement nos familles **REZGA** et **YAHIA** pour leur aide morale et matérielle durant toute la période de préparation.*

Nous tenons à remercier aussi tous les enseignants qui ont contribué à notre formation au département de Technologie





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents.

Mon père et mon mère qui sans lui je ne serais pas arrivé jusqu'ici.

Mes très chers frères et mes sœurs et toute ma famille.

*À mon binôme **Safa** aux bons moments que nous avons passé ensemble a
tout sa famille.*

Mes très chers amis et

Mes camarades de la promo de télécom



Hana



Dédicace

Je dédie ce travail à

Mon amour, mon inspiration, mon soutien, mon modèle, et ma force.

Mes chers parents qui ont été toujours là pour moi !

Chers parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que

Dieu vous préserve et vous procure santé et longue vie.

A mes adorables sœurs et frères

A toute la famille rezga

A tous mes amis

Et à tous ceux qui veulent partager cette joie avec moi

Safa



Résumé

Les futurs réseaux mobiles utiliseront à la fois des fréquences basses et élevées, mais ils sont censés offrir leurs vitesses les plus élevées sur des ondes millimétriques. Heureusement, la longueur d'onde plus courte d'un signal d'onde millimétrique permet un gain d'antenne plus important en utilisant un réseau d'antennes avec un grand nombre d'éléments d'antenne (MIMO). Il est connu que le système de communication point à point à ondes millimétriques existant avec un grand réseau d'antennes peut atteindre des débits de données multigigabits à une distance en visibilité directe de quelques kilomètres. Cependant, le faisceau étroit fixe offre une couverture géographique limitée. En général, le système de formation de faisceau (Beamforming) peut fournir une puissance transmise plus élevée et une meilleure flexibilité de formation de faisceau. Les techniques de formation de faisceau MIMO (MIMO Beamforming) peuvent offrir un gain de réseau d'antennes élevé, une anti-interférence, une meilleure couverture du signal et une efficacité spectrale élevée pour les futurs réseaux mobiles avec une communication cellulaire à ondes millimétriques. Le but principal de ce travail est d'étudier et de simuler les types de beamforming adaptatif à l'aide de multiples antennes de transmission et de réception (MIMO), où une comparaison de ces types a été faite.

Mots clés : MIMO, Beamforming, MVDR, LCMV, LMS, RLS.

Abstract : Future mobile networks will use both low and high frequencies, but they are expected to deliver their highest speeds on millimeter waves. Fortunately, the shorter wavelength of a millimeter wave signal allows for greater antenna gain when using an antenna array with a large number of antenna elements (MIMO). It is known that the existing point-to-point millimeter wave communication system with a large antenna array can achieve multigigabit data rates at a line-of-sight distance of a few kilometers. However, the fixed narrow beam offers limited geographic coverage. In general, the beamforming system can provide higher transmitted power and better beamforming flexibility. MIMO Beamforming techniques can offer high antenna array gain, anti-interference, better signal coverage and high spectral efficiency for future mobile networks with millimeter wave cellular communication. The main goal of this work is to study and simulate the types of adaptive beamforming using multiple transmit and receive (MIMO) antennas, where a comparison of these types has been made.

Key words : MIMO, Beamforming, MVDR, LCMV, LMS, RLS.

ملخص

ستستخدم شبكات الهاتف المحمول المستقبلية كلاً من الترددات المنخفضة والعالية ، لكن من المتوقع أن تقدم أعلى سرعاتها على موجات المليمتر. لحسن الحظ ، يسمح الطول الموجي الأقصر لإشارة الموجة المليمترية بكسب أكبر للهوائي عند استخدام صفيق هوائي به عدد كبير من عناصر الهوائي (MIMO). من المعروف أن نظام اتصال الموجات المليمترية الموجود من نقطة إلى نقطة مع صفيق هوائي كبير يمكن أن يحقق معدلات بيانات متعددة الجيجابايت على مسافة خط رؤية تبلغ بضعة كيلومترات. ومع ذلك ، فإن الحزمة الضيقة الثابتة توفر تغطية جغرافية محدودة. بشكل عام ، يمكن أن يوفر نظام تشكيل الحزم قدرة إرسال أعلى ومرونة أفضل في تشكيل الحزمة. يمكن أن توفر تقنيات MIMO Formation des faisceaux كسباً عالياً لصفيق الهوائي ، ومقاومة للتداخل ، وتغطية أفضل للإشارة ، وكفاءة طيفية عالية لشبكات المحمول المستقبلية مع الاتصالات الخلوية بموجة ملليمتر. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة ومحاكاة أنواع إرسال الحزمة التكيفية باستخدام هوائيات متعددة للإرسال والاستقبال (MIMO) ، حيث تم إجراء مقارنة بين هذه الأنواع.

الكلمات المفتاحية : MIMO, Formation du faisceau, MVDR, LCMV, LMS, RLS

Liste des Figures

Chapitre I : Les Systèmes MIMO

Fig.1.1 SISO – Entrée Unique Sortie Unique.....	4
Fig.1.2 SIMO – Entrée Unique Sortie Multiple	4
Fig.1.3 MISO – Sortie Unique à Entrées Multiples.....	5
Fig.1.4 MIMO – Sortie Multiples Entrées Multiples	6
Fig.1.5 Réseau uniforme.....	7
Fig.1.6 Schéma de blocs fonctionnels d’une antenne intelligente.....	9
Fig.1.7 différence entre un système à commutation de faisceaux et un système adaptative	9
Fig.1.8 Critère de réseau adaptative MMSE.....	10

Chapitr II: Techniques de Formation du Faisceau

Fig.2.1 Précodeur Zero Forçage	17
Fig.2.2 Classification générale de formation de faisceaux.....	18
Fig.2.3 Formation de faisceaux à bande étroite.....	19
Fig.2.4 Formation de faisceaux à large bande	20
Fig.2.5 LMS réseau adaptatif de formation de faisceaux	21
Fig.2.6 Une matrice Butler 8x8 alimentant un tableau à 8 éléments. Les cercles sont des hybrides à 90 ° et les nombres sont des changements de phase en unités de $\pi / 8$	27
Fig.2.7 Formation de faisceaux analogique.....	27
Fig.2.8 Beamforming numérique.....	28
Fig.2.9 Formation de faisceaux hybride	29

Chapitr III: Similation et résultats

Fig 3.1 ULA (Uniform Linear Array)	32
Fig. 3.2 URA (Uniform Réseau Array)	33
Fig. 3.3 Comparaison entre l'impulsion du récepteur et l'impulsion de l'émetteur.....	34
Fig.3.4 Comparaison les signaux entre la sortie d'un seul élément (non formé par un faisceau) et la sortie du formateur de faisceau (déphasage).....	35
Fig.3.5 Spectre de puissance du Faisceau de déphasage	35
Fig. 3.6 Comparaison des signaux d'interférence entre déphasage et MVDR	36
Fig.3.7 Comparaison du modèle de réponse entre déphasage et MVDR en termes de réponse du réseau d’antennes de la formation de faisceau, pour le cas de 0 degré d'élévation avec les poids appliqués.	37
Fig.3.8 comparaison des configurations de faisceaux entre MVDR et LCMV.....	38
Fig.3.9 Comparaison du modèle de réponse entre LCMV et MVDR	39

Fig.3.10 Sortie du formateur de faisceau MVDR pour URA.	40
Fig.3.11 Modèle de réponse à une élévation de 5 et -10 degrés (par MVDR).	41
Fig.3.12 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme LMS pour 8 éléments réseau d'antennes $d = 0.5 \lambda$	42
Fig.3.13 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme LMS pour 8 éléments réseau d'antennes $d = 0.125 \lambda$	42
Fig.3.14 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme LMS pour 4 éléments réseau d'antennes $d = 0.5 \lambda$	43
Fig.3.15 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme LMS pour 16 éléments réseau d'antennes $d = 0.5 \lambda$	44
Fig.3.16 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme RLS pour 8 éléments réseau d'antennes $d = 0.5 \lambda$	45
Fig.3.17 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme RLS pour 8 éléments réseau d'antennes $d = 0.125 \lambda$	46
Fig.3.18 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme RLS pour 4 éléments réseau d'antennes $d = 0.5 \lambda$	47
Fig.3.19 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme RLS pour 16 éléments réseau d'antennes $d = 0.5 \lambda$	48

Liste des tableaux

Tableau 2.1 récapitule les expressions de tous les Précodeurs linéaires.	16
---	----

Listes des acronymes et abréviations

AOA	Angle of arrival
BS	Base Station
BM	Butler Matrix
CMA	Constant Modulus Algorithm
CB	Conjugate Beamforming
DOA	Direction-of-arrival (direction d'arrive)
DBF	Digital Beam Forming
EGT	Equal Gain Transmission
GCA	conjugate gradient
LOS	Line Of Sight
LMS	least-mean-square
LS-CMA	Least Square-Constant Modulus Algorithm
LCMV	Linearly constrained minimum variance
MMSE	Minimum Mean Square Error (minimisation de l'erreur quadratique moyenne)
MU-MIMO	Multi-user Multiple Input Multiple Output
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
MVDR	Minimum Variance Directionless Response
MR	Rapport Maximal
MS	Mobile Station
MV	Minimum Variance
NLOS	None Line Of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
RLS	Recursive Least Square
SNOI	Signal-Not-Of-Interest
SNR	Signal to Noise Ratio(rapport signal sur bruit)
SINR	Signal to Interference & Noise Ratio
SIR	Signal-to-Interference Ratio
SIR	Signal-to-Interference Ratio
SMI	Sample Matrix Inversion
SISO	Single Input Single Output
SIMO	Single Input Multiple Output
ULA	Uniform Linear Array

URA Uniform Rectangular Array (Uniform Réseau Array)

ZF Zero Forcing

Sommaire

Sommaire

Remerciements	i
Dédicace	ii
Dédicace	iii
Résumé	iv
Liste des Figures.....	vi
Liste des tableaux.....	viii
Listesdes acronymes et abréviations	ix
Sommaire	xii
Introduction générale	1

Chapitre I :Les Systèmes MIMO

1.1. Introduction.....	3
1.2. Présentation de la technique MIMO :	3
1.3. Types de MIMO :.....	3
1.3.1. SISO	3
1.3.2. SIMO	4
1.3.3. MISO.....	5
1.3.4. MIMO	5
1.4. Antennes et propagation.....	6
1.4.1. Réseau d'antennes	6
1.4.2. Réseaux linéaires uniformes	7
1.4.3. Antennes intelligentes	8
1.4.4. Antennes adaptatives.....	9
1.4.5. Critères adaptatifs.....	10
1.4.6. Minimum Mean Square Error (MMSE) (Minimisation de l'Erreur Quadratique Moyenne) :.....	10
1.5. Diversité d'un system MIMO	11
1.5.1. Diversité temporelle :	12
1.5.2. Diversité spatiale.....	12
1.5.3. Diversité spatio-temporelle	12
1.5.4. Le multiplexage spatial	12
1.6. Conclusion.....	13

Chapitr II:Technique Formation du faisceau

2.1. Introduction.....	15
2.2. Formation du faisceau.....	15
2.3. Formation des faisceaux les systèmes MIMO	15
2.4. Précodage et Formation des faisceaux	15
2.4.1. Précodeurs linéaires :	16
2.4.1.1. Formation de faisceaux conjuguée (CB).....	16
2.4.1.2. Transmission Gain Egal (EGT).....	16
2.4.2. Détecteur minimale moyenne quadratique Erreur (MMSE).....	17
2.5. Classification de technique formation de faisceaux.....	17
2.5.1. Formation de faisceau à bande étroite.....	19
2.5.2. Formation de faisceaux à large bande.....	19
2.5.3. Algorithmes adaptatifs de formation de faisceau.....	20
2.5.3.1. Algorithmes adaptatifs non aveugles	21
A. LMS Algorithme.....	21
B. RLS algorithms.....	22
C. SMI Algorithme.....	22
D. CG Algorithme.....	23
2.5.3.2. Algorithmes adaptatifs aveugles	23
A. CM Algorithme.....	23
B. LS-CM Algorithme.....	24
C. LCMV Algorithme.....	25
D. MVDR Algorithme.....	25
2.5.4. Algorithmes de formation de faisceaux commutés :.....	26
2.5.5. Formation de faisceaux analogiques, numériques	27
2.5.5.1. Hybride formation de faisceaux.....	28
2.6. Conclusion.....	30

Chapitr III :Similation et résultats

3.1. Introduction.....	32
3.2. ULA (Réseau linéaire uniforme).....	32
3.3. URA(Réseau Rectangulaire Uniforme)	32
3.4. Résultats de simulation de formation de faisceau adaptative aveugle	33
3.4.1. Du signal reçu	33
3.4.2. Faisceau de déphasage	34

3.4.3. Evaluation de performance de déphasage et MVDR en termes d'interférences	36
3.4.4. Une comparaison des configurations de faisceaux MVDR et LCMV	37
3.4.5. Formation de faisceaux en matrice 2D.....	39
3.5. Simulation formation de faisceau adaptive non aveugle.....	41
3.5.1. LMS.....	41
3.5.2. RLS	44
3.5.3. Les notes.....	48
3.6. Conclusion.....	49
Conclusion générale	51
Références bibliographiques	53

Introduction générale

Introduction général

Les réseaux de cinquième génération utilisent plusieurs nouvelles technologies pour augmenter l'efficacité spectrale et la vitesse de transmission des données et pour réduire la consommation d'énergie, et la plus importante de ces technologies est la technologie MIMO Entrée Multiple Sortie Multiple.

Cette technologie est décrite comme un système de réseau sans fil qui utilise au moins deux récepteurs et émetteurs pour transmettre et recevoir de nombreuses données à la fois et ceci Ce qui augmente la capacité des réseaux de téléphonie mobile, mais cette technologie est confrontée au problème des interférences lors du croisement de signaux, et cela est particulièrement visible lorsque le nombre d'antennes augmente. Par conséquent, les réseaux de cinquième génération utilisent la technologie de formation de faisceaux pour résoudre ce problème, cette technologie aide les classes MIMO à augmenter l'efficacité de l'utilisation du spectre environnant, Comme les algorithmes de traitement du signal tracent le chemin de transmission optimal dans l'air pour chaque utilisateur, dans ce mémoire , nous étudierons et simulerons la formation du faisceau MIMO.

Le premier chapitre présente d'abord la technique MIMO et ses types (SISO-MISO-SIMO). Nous évoquons par la suite les principes de fonctionnement des antennes intelligentes et adaptatives, à la fin nous évoquons diversité d'un system MIMO.

Dans le deuxième chapitre, nous fournirons des classifications des techniques de formation du faisceau (Beamforming) utilisable par les systèmes MIMO ainsi on explore quelque types de Précodage et Formation du faisceau MIMO .

Le dernier chapitre présente les résultats de simulation pour la formation de faisceau adaptative, dans laquelle la comparaison entre les performances de différents types de formation de faisceau adaptative (aveugle et non-aveugle) : MVDR, LCMV, RLS, LMS a été réalisé avec Matlab.

Chapitre I :
Les Systèmes MIMO

1.1. Introduction

Avec la croissance rapide de l'utilisation des connexions sans fil et l'expansion rapide du téléphone de l'opérateur, la plupart des recherches dans ce domaine se sont concentrées sur le déploiement de nouvelles technologies pour rendre les réseaux sans fil plus efficaces. Une de ces techniques est la technique de MIMO. Cette technologie offre un bon débit de transmission et une bonne qualité grâce à la diversité spatiale. Dans ce chapitre on explore la technique MIMO et ses types (SISO-MISO-SIMO) ainsi leurs capacités et bien sûr le MIMO qui est l'objectif de ce chapitre.

1.2. Présentation de la technique MIMO

La technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) est une technique de transmission utilisée dans les systèmes modernes de communication, elle a adopté pour utiliser de plusieurs antennes au niveau de l'émetteur-récepteur pour transférer plus de données simultanément et d'améliorer l'efficacité de la transmission. Soit plusieurs émetteurs et récepteurs sont transmis via des antennes distinctes sur des canaux de propagation non connectés dans le but d'augmenter la capacité de transmission d'un ou plusieurs utilisateurs, soit le même signal de sortie est envoyé sur plusieurs antennes et est intégré au récepteur afin d'améliorer la qualité du signal (diversité en réception).

1.3. Types de MIMO

Dans cette partie, il existe quatre modèles de configuration d'antennes les différents d'antennes.

- **SISO**(Entrée unique Sortie unique)
- **SIMO**(Entrée unique Sortie multiple)
- **MISO** (Sortie unique à entrées multiples)
- **MIMO**(Entrée multiple Sortie multiple)

1.3.1. SISO

Le terme MIMO comme SISO - sorties individuelles pour l'entrée individuelle consiste à avoir une seule antenne sur le côté émetteur et le récepteur comme indiqué dans la fig.1.1



Fig.1.1 SISO – Entrée Unique Sortie Unique [1]

SISO plus simple en termes d'exécution et de conception parmi les quatre types d'antennes disponibles. . Le seul avantage de SISO est qu'il est très simple par rapport à d'autres types de systèmes. SISO a découvert ses applications dans le Wifi, la télévision, la radiodiffusionetc.

$$C = BMr\log_2(1 + \text{SNR}) \text{ [bits/s]} \quad (1.1)$$

Avec :

C : la capacité du canal.

B : la largeur de bande du canal.

SNR : le rapport signal sur bruit

1.3.2. SIMO

Le système SIMO (Single Input Multiple Output) utilise à l'émission une seule antenne et plusieurs antennes à la réception fig.1.2

SIMO contribue à améliorer la diversité de réception où il est utilisé afin de lutter contre les effets des évanouissements de l'antenne et des interférences ionosphériques sans augmentation dans la capacité de canal



Fig.1.2 SIMO – Entrée Unique Sortie Multiple[1]

La capacité du canal SIMO : $C = BMr\log_2(1 + \text{SNR}) \text{ [bits/s]} \quad (1.2)$

Avec :

M_r : le nombre d'antennes utilisées du côté du récepteur

- C** : la capacité du canal ;
- B** : la largeur de bande du canal ;
- SNR** : le rapport signal sur bruit

1.3.3. MISO

Le MISO (multi-input à rendement unique) est également appelé diversité des émissions. Il n'y a qu'une seule antenne récepteur capable de recevoir les mêmes données qui sont transmises à plusieurs reprises à partir d'antennes de transmission multiples et les données sont ensuite récupérées en traitant le signal optimal reçu (total des signaux à deux voies). fig.1.3



Fig.1.3 MISO – Sortie Unique à Entrées Multiples[1]

Cette configuration permet de récupérer le signal original à la réception avec une moindre perte de chemin que SISO et SIMO tout en réduisant l'effet de l'évanouissement par trajets multiples lors de la transmission.

1.3.4. MIMO

Lorsqu'il y a plus d'une antenne à chaque extrémité de la liaison radio, cela s'appelle MIMO - Multiple Input Multiple Output. MIMO peut être utilisé pour apporter des améliorations à la fois à la robustesse du canal et au débit du canal..

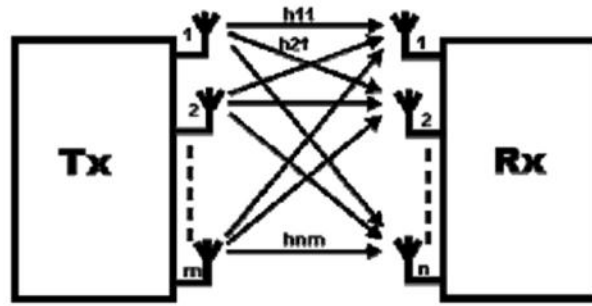


Fig.1.4 MIMO – Entrée Multiple Sortie Multiple[1]

Afin de pouvoir bénéficier pleinement de MIMO, il est nécessaire de pouvoir utiliser le codage sur les canaux pour séparer les données des différents trajets. Cela nécessite un traitement, mais offre une robustesse de canal / capacité de débit de données supplémentaire.

Il existe de nombreux formats de MIMO qui peuvent être utilisés depuis SISO, via SIMO et MISO jusqu'aux systèmes MIMO complets. Ceux-ci sont tous capables d'apporter des améliorations significatives des performances, mais généralement au prix d'un traitement supplémentaire et du nombre d'antennes utilisées. Un équilibre entre les performances et les coûts, la taille, le traitement disponible et la durée de vie de la batterie qui en résulte doit être fait lors du choix de l'option appropriée. [1]

1.4. Antennes et propagation

Dans les systèmes de communication radio actuels, des antennes traditionnelles (à sens unique, bruyante) sont utilisées, où ces systèmes transmettent et reçoivent des rayonnements radio dans une distribution régulière et égale dans toutes les directions, mais ce système est devenu inutile dans les communications mobiles où un certain nombre de problèmes surgissent. Défauts qui réduisent sa capacité et son efficacité et perdent la capacité opérationnelle souhaitée et donc le besoin urgent des systèmes d'antenne les plus intelligents et basés sur le réseau (linéaire, plat, circulaire, etc.) afin qu'il soit en mesure de diriger le rayonnement maximum vers l'utilisateur désiré et de suivre son chemin ou sa ligne Conduit

1.4.1. Réseau d'antennes

Un réseau d'antennes est formé de capteurs spatialement séparés et dont les sorties alimentent un réseau pondéré. Généralement n'importe quelle combinaison des éléments dans différentes structures géométriques peut former un réseau [2].

- L'espacement entre les éléments du réseau est assez petit qu'il n'y a aucune variation d'amplitude entre les signaux reçus aux différents éléments.
- Il n'y a aucun couplage manuel entre les éléments.

- Tous les champs d'incidence peuvent être décomposés en nombre discret d'ondes planes. C'est-à-dire, il y a un nombre fini de signaux.
- La largeur de bande du signal incident sur le réseau est petite comparée à la fréquence porteuse. Le réseau d'antennes peut être arrangé dans diverses configurations de la géométrie dont les plus populaires sont linéaires [2].

1.4.2. Réseaux linéaires uniformes

La géométrie la plus fréquemment utilisée dans la conception des antennes réseaux est celle d'un réseau linéaire uniforme car elle est simple à mettre en œuvre. Fig.1.5 présente un réseau linéaire de N sources équidistantes d'un pas de réseau dy . Ces sources sont alimentées avec la même amplitude [3].

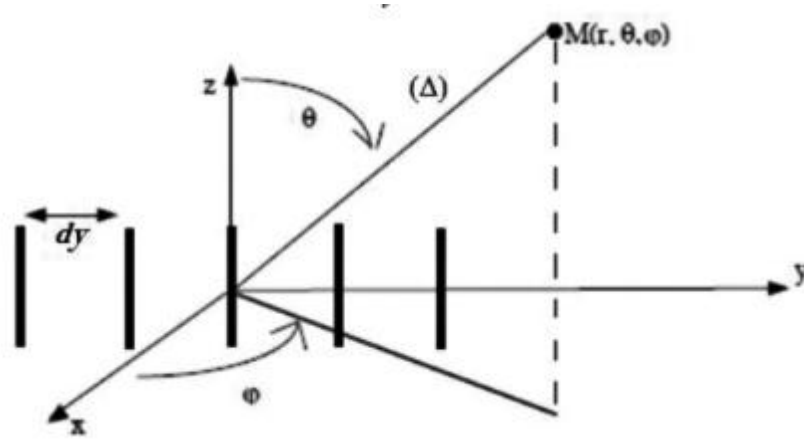


Fig.1.5 Réseau uniforme.[4]

Exprime le champ total de l'antenne suivante :

$$\sum_{n=0}^{N-1} q^n = \frac{q^N - 1}{q - 1} \text{ pour } q \neq 1 \quad (1.3)$$

$$\text{Nous avons donc } E_T = E_1 \cdot \frac{1 - e^{-NjS}}{1 - e^{-jS}} \quad (1.4)$$

Nous en déduisons la fonction caractéristique de l'alignement (en module):

$$|E_T| = |E_1| \cdot \left| \frac{\sin\left(\frac{Nj}{2}\right)}{\sin\left(\frac{j}{2}\right)} \right| \quad (1.5)$$

L'expression du facteur du réseau (Array Factor) pour un réseau d'éléments équidistant et alimentés par des amplitudes uniformes est la suivante [4].

$$AF = \frac{\sin(\frac{N}{2}s)}{\sin(\frac{s}{2})} \quad (1.6)$$

1.4.3. Antennes intelligentes

L'intérêt de ce système est la réaction automatique de leur capacité, en temps réel, à des modification du canal de propagation, ils permettent de réduire les niveaux des lobes secondaires existants dans la direction de l'interférence, tout en maintenant le lobe principale en direction utile habituellement, ces systèmes reposent sur un réseau d'antennes et sur un processeur récepteur adaptative en temps réel qui attribue des pondération aux éléments, afin d'optimiser le signal de sortie selon les algorithmes de contrôle prédéfinie. Un réseau d'antennes adaptatives peut donc être défini comme un réseau capable de modifier son diagramme de rayonnement, sa réponse fréquentielle et d'autres paramètres grâce à une boucle à retour de décision interne pendant le fonctionnement de l'antenne [5]

❖ Principe de fonctionnement des antennes intelligentes

L'idée du principe de la fonction d'antenne intelligente est complexe et se chevauche à partir des systèmes logiciels, du traitement du signal numérique, de la propagation des ondes, etc. et nous pouvons la simplifier dans les points suivants :

- Un réseau d'antennes ; un ensemble d'antennes disposées régulièrement selon une configuration linéaire, circulaire, ou planaire pour capter de différentes directions les signaux entrant et déterminer leur nombre
- Un estimateur de directions d'arrivées ; ce bloc estime et classe les angles ou bien les directions d'arrivées en identifiant les signaux venant originalement du bon utilisateur et ceux venant des interférents.
- Les antennes intelligentes envoient des ondes au récepteur spécifique et de haute qualité parce qu'elles sont équipées de systèmes internes qui leur permettent de sélectionner l'émetteur et le récepteur contrairement aux antennes classiques et cette fonctionnalité réduit les interférences et permet à l'onde d'atteindre d'autres distances [6]

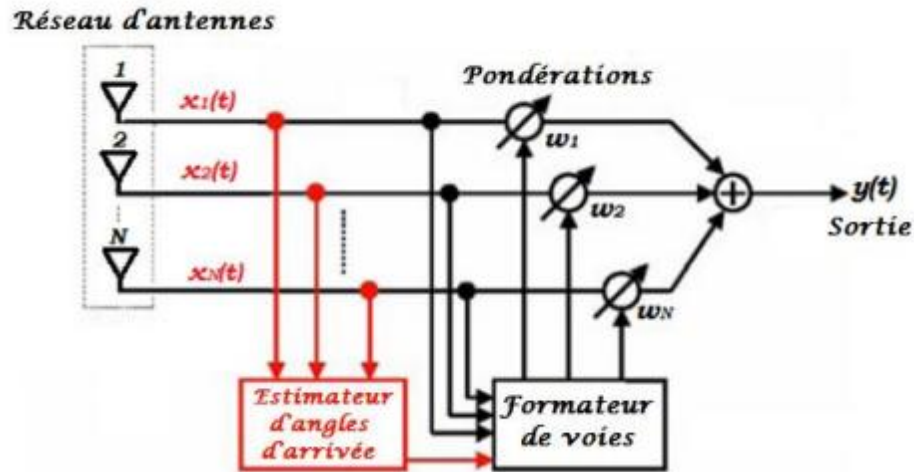


Fig.1.6 Schéma de blocs fonctionnels d'une antenne intelligente[6]

1.4.4. Antennes adaptatives

Les antennes adaptatives peuvent être définies comme des antennes-réseaux avec traitement du signal qui peut modifier leur diagramme de rayonnement de façon dynamique pour s'adapter au bruit, au brouillage et à la propagation par trajets multiples. Elles sont utilisées pour améliorer le rapport signal/bruit+brouillage (SINR) à la réception et peuvent également être considérées comme des antennes à faisceaux modelés pour l'émission. La technologie des antennes adaptatives constitue la méthode la plus évoluée à ce jour pour améliorer sensiblement l'efficacité spectrale. En utilisant divers algorithmes de traitement du signal, un système adaptatif identifie et suit tous les signaux et brouilleurs pris en considération afin de minimiser dynamiquement les brouillages et de maximiser la réception des signaux utiles. La différence entre les deux méthodes – antennes adaptatives ou antennes à commutation de faisceaux – est illustrée de façon simplifiée à la fig.1.7 qui montre comment les algorithmes adaptatifs se comportent par rapport aux signaux brouilleurs et au signal utile. [5]

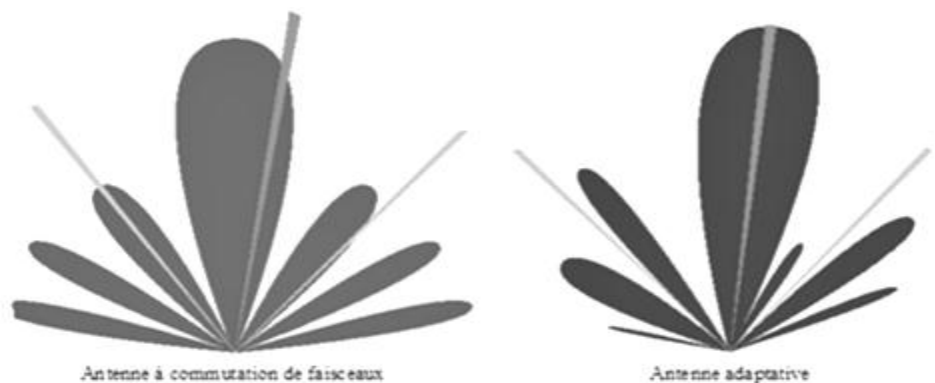


Fig.1.7 Différence entre un système à commutation de faisceaux et un système adaptative[5]

1.4.5. Critères adaptatifs

Avec un réseau adaptatif, les signaux reçus par chaque antenne sont pondérés et combinés pour améliorer les performances du signal de sortie. Les critères de performance les plus fréquemment utilisés sont : [7]

- Minimum Mean Square Error (MMSE) ,
- Minimum Variance (MV),

1.4.6. Minimum Mean Square Error (MMSE) (Minimisation de l'Erreur Quadratique Moyenne) :

Ce critère permet de minimiser l'erreur quadratique moyenne entre le signal désiré $S(t)$ et la sortie de réseau $y(t)$ sur la base d'un signal de référence $d(t)$ qui est connu à la fois au niveau de la BS et la MS. Le signal d'apprentissage $d(t)$ est habituellement envoyé à partir de la BS à la MS pour estimer l'environnement de propagation. Après la période d'apprentissage, les séquences obtenues sont utilisées pour traiter les données reçues. Nous considérerons maintenant le réseau adaptatif représenté sur la fig .1.8 le vecteur de signal d'entrée est donnée par [2] :

$$x(t) = a(\theta)S(t) + n(t) \quad (1.7)$$

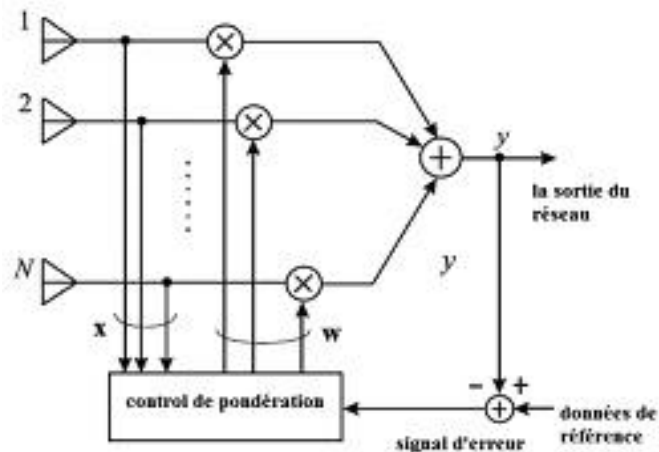


Fig.1.8 Critère de réseau adaptative MMSE [7]

Où $n(t)$ est le vecteur bruit qui est supposé gaussien avec une moyenne nulle et de variance N_0 est AOA, $a(\theta)$ est le vecteur de propagation pour le signal désiré (vecteur de direction)

$$a(\theta) = [1 \quad e^{j\pi \sin \theta} \quad e^{j\pi(N-1) \sin \theta}]^T \quad (1.8)$$

La formation de faisceau dans le récepteur utilise les informations du signal de référence pour calculer le vecteur de pondération optimale $w^{(opt)}$. Si l'environnement du canal et les caractéristiques d'interférence restent constants d'une période de formation jusqu'à la prochaine, le vecteur de pondération $w^{(opt)}$ sera utilisé pour calculer la sortie $y(t)$ [7]

$$y(t) = w^H x(t) \quad (1.9)$$

Alors le signal d'erreur est donné par :

$$\begin{aligned} e(t) &= d(t) - y(t) \\ &= d(t) - w^H x(t) \end{aligned} \quad (1.10)$$

Et l'erreur quadratique moyenne est définie par :

$$E\{|e(t)|^2\} = E\{|d(t) - w^H x(t)|^2\} \quad (1.11)$$

Où $E\{.\}$ désigne l'opérateur d'espérance d'ensemble. À partir de (1.10), nous avons :

$$\begin{aligned} E\{|e(t)|^2\} &= E\{|d(t)|^2\} - w^T E\{w^*(t)d(t)\} - w^H E\{x(t)d^*(t)\} + w^H E\{x(t)x^H(t)\}w \\ &= E\{|d(t)|^2\} - w^T p_{xt}^* - w^T p_{xt} + w^H R_{xx} w \end{aligned} \quad (1.12)$$

Où : $p_{xy} = E\{x(t)d(t)^*\}$ est le vecteur de corrélation croisée de dimension $N \times 1$.

$R_{xx} = E\{x(t)x^H(t)\}$ est la matrice $M \times M$ de corrélation. Ici $(.)^*$ Désigne le complexe conjugué.

Le vecteur de pondération optimal peut être trouvé en calculant le gradient de (1.12)

$$\nabla_w E\{|e(t)|^2\} = -2p_{xr} + 2R_{xx}w = 0 \quad (1.13)$$

De après réarrangement, nous pouvons écrire :

$$R_{xx}w = p_{xr} \quad (1.14)$$

En supposant qu'est non singulière, la solution optimale est donnée comme suit :

$$w^{opt} = R^{-1}p_{xr} \quad (1.15)$$

L'équation (1.15) est appelée l'équation de Wiener-Hopf.

1.5. Diversité d'un system MIMO

Les techniques de diversité reposent sur le principe que la probabilité, que plusieurs sous-canaux indépendants souffrent simultanément d'un évanouissement fort, est trop

faible. Ces techniques sont, donc, destinées à améliorer la qualité du lien de communication et réduire par conséquent, le taux de bits erronés [8]

1.5.1. Diversité temporelle :

Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal, il est possible de profiter de diversité temporelle. Tout dépend également de la vitesse de déplacement du mobile et de la fréquence porteuse. Il faut toutefois que la vitesse du mobile demeure assez élevée ou que les délais entre les signaux restent suffisamment grands [9]

1.5.2. Diversité spatiale

Cette dernière diversité est obtenue en utilisant plusieurs antennes pour émettre un signal ou des versions redondantes ou/et plusieurs antennes pour recevoir les différents signaux. Il s'agit d'avoir des trajets à évanouissement indépendants et, pour ce faire, les antennes ne doivent pas être trop proches pour que les signaux ne soient pas corrélés. Une distance de cohérence est déterminée et permet d'assurer la diversité spatiale. Celle-ci est liée à la hauteur de l'antenne d'une station de base. [10]

1.5.3. Diversité spatio-temporelle

La diversité spatio-temporelle est un exemple de combinaison de techniques de diversité. En effet, cette technique envoie deux versions de signal différées dans le temps via deux antennes transmetteurs [9]

1.5.4. Le multiplexage spatial

Le multiplexage spatial (MS) est l'une des premières techniques MIMO mise en œuvre qui a fait découvrir les systèmes MIMO avec la publication des Bell Labs. Le principe du multiplexage spatial est l'agencement sans redondance de la séquence d'information suivant l'axe spatial. Le système transmet alors n fois plus de symboles utiles par unité de temps qu'un système SISO. un tel système a été proposé par Foschini en 1996, l'architecture de ce premier système MIMO, est appelé D-BLAST. Par la suite Foschini et Wolniansky proposent deux schémas de codage plus réalistes, appelé V-BLAST et H-BLAST. Pour pouvoir être décodés, ces codes BLAST doivent utiliser au moins autant d'antennes en réception qu'en émission. [10]

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes technologies MIMO et leurs capacités, puis fournissons un bref aperçu des différentes technologies les plus récentes pour plusieurs antennes, telles que le codage spatio-temporel et le multiplexage spatial.

Chapitr II :
Techniques de Formation
du faisceau

2.1. Introduction

La formation de faisceaux est une technologie prometteuse transmettre des signaux provenant d'une direction spécifique et atténuer signaux arrivant d'autres directions (interférences) augmentant ainsi la capacité et améliorant la qualité de transmission. Dans ce chapitre, nous fournirons des classifications des techniques la formation du faisceau utilisées dans les systèmes de MIMO et précodage de la formation du faisceau linéaire.

2.2. Formation du faisceau

Est un outil utilisé pour produire un diagramme de rayonnement d'antenne réseau en appliquant de manière constructive les poids de signal dans la direction soi et en annulant le diagramme dans la direction SNOI (interférence). La formation de faisceau peut être utilisée pour gagner la sélectivité spatiale, c'est-à-dire à la fois à la transmission et aux extrémités de réception, l'alimentation appropriée permet aux réseaux d'antennes de guider leur faisceau et d'annuler dans d'autres directions, également appelée filtration spatiale [11].

2.3. Formation des faisceaux les systèmes MIMO

Lorsqu'un signal est reçu par un récepteur MIMO, chaque antenne réceptrice reçoit le signal avec un certain retard, dépendamment de sa position dans le réseau d'antennes. Si le signal est large bande, alors, le même signal est reçu sur tous les éléments du réseau avec différentes phases. Maintenant, si la direction d'arrivée est connue, alors, le déphasage peut être corrigé avec un déphaseur avant de sommer les différents signaux. De cette manière, la sommation donne un maximum car les signaux additionnés sont en phase. Lorsque l'ajustement se porte seulement sur la phase, le diagramme de rayonnement du réseau n'est pas modifié. C'est juste la direction du lobe principale qui varie. Cependant, si les amplitudes des différents signaux reçus sont traitées avant la sommation, la forme du diagramme de rayonnement est, aussi, modifiée. [8]

2.4. Précodage et Formation des faisceaux

La notion de précodage apparaît dès lors que l'on effectue un traitement numérique à l'émission codant puis répartissant les données sur chacune des antennes, à l'aide d'une connaissance plus ou moins parfaite du canal de transmission. où d'un grand nombre d'antennes implique de faire un choix afin d'obtenir le compromis coût / complexité / qualité et rapidité de quantification le plus adapté au cas d'usage. le précodage va permettre de focaliser l'énergie dans une direction ou une zone particulière (respectivement pour une communication en LOS ou en NLOS) Un prétraitement numérique suivi d'un convertisseur

numérique/analogique en entrée de chaque antenne .La synthèse des précodeurs est liée aux critères d'optimisation désirés (e.g. SIR, SNR, SINR, etc...). Chaque précodeur correspond à un compromis différent entre complexité, interférences inter-utilisateurs et consommation énergétique.[11]

2.4.1. Précodeurs linéaires :

Les systèmes MIMO souffrent d'interférences MU transmission de liaison descendante, qui est atténuée au moyen de méthodes de précodage de sensible au canal mises en œuvre au BS [13]. Évalué catégoriser ces Précodeurs en deux catégories principales : précodeur linéaire et non linéaire. Les détecteurs de signaux linéaires à faible complexité considèrent tous les signaux, qui sont transmis en excluant le flux souhaité de l'antenne de transmission spécifiée comme interférence, qui sont transmis par d'autres antennes, sont réduites ou annulées dans le processus de détecter les signaux souhaités à partir de la transmission spécifiée [12]

Tableau 2.1 récapitule les expressions de tous les Précodeurs linéaires.

Précodeur	Expression	Maximisation
CB	H^H	SNR
EGT	$\arg(H^*)$	SNR
ZF	$H^H(HH^H)^{-1}$	SIR
MMSE	$H^H(HH^H\sigma^2I_k)^{-1}$	SINR

2.4.1.1. Formation de faisceaux conjuguée (CB)

Formation de faisceaux conjuguée il est également appelé l'inversion du temps lorsqu'il est appliqué dans le fuseau horaire, il vise à maximiser le SNR .Cet appareil fournira un revenu maximal pour la formation de paquets pour chaque utilisateur, mais générera une certaine quantité de chevauchement sur d'autres utilisateurs. on utilise seulement la matrice des évanouissements rapides H [12]et matrice de précodage du Formation de faisceaux conjuguée (CB).

(CB) est donnée par :

$$W^{(CB)} = H^H \quad (2.1)$$

2.4.1.2. Transmission Gain Egal (EGT)

L'EGT, ou transmission à gain constant, ne va compenser que le déphasage engendré par le canal

$$W^{(EGT)} = e^{-i\phi_{k,m}} \quad (2.2)$$

$\phi_{k,m}$ est le déphasage introduit par le canal entre l'utilisateur k et l'antenne m . La matrice de précodage a l'expression suivante

$$W^{(EGT)} = \angle H^H \quad (2.3)$$

4.1.3 ZeroForçage (ZF)

Le ZF est un précodeur annulant les interférences inter-utilisateurs (interférences produites par une transmission MU-MIMO) et donc qui maximise le SIR, comme le montre la fig.2.2

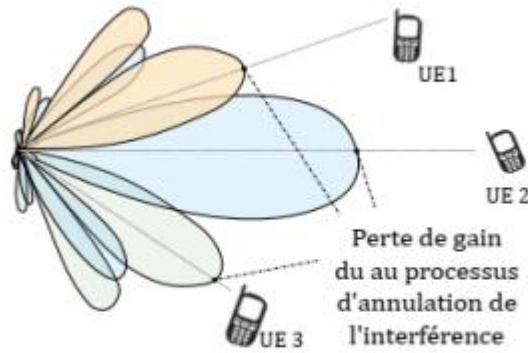


Fig.2.1Précodeur Zero Forçage[12]

La forme linéaire devenant très complexe, l'écriture matricielle est préférable pour plus de lisibilité [12]

$$W^{ZF} = H^H (HH^H)^{-1} \quad (2.4)$$

2.4.2. Détecteur minimale moyenne quadratique Erreur (MMSE)

Le précodeur MMSE est un compromis entre annulation d'interférences et puissance de bruit ce qui en fait un précodeur plus adapté que le ZF à bas SNR. Il vise donc à maximiser le SINR

$$W^{(MMSE)} = H^H (HH^H \sigma^2 I_k)^{-1} \quad (2.5)$$

Comme le ZF, il est d'une grande complexité à cause de l'inversion matricielle nécessaire au calcul de la matrice de précodage. Il permet de limiter l'impact du bruit à faible SNR que subit le ZF [12]

2.5. Classification de technique formation de faisceaux

Dans les antennes intelligentes, la méthode de formation de faisceau est utilisée pour envoyer et recevoir des signaux dans les grands réseaux MIMO. Les antennes intelligentes sont des réseaux d'antennes avec des algorithmes de traitement du signal qui connaissent les identificateurs spatiaux des signaux et les utilisent pour évaluer les vecteurs de formation de

faisceaux. Ces vecteurs reconnaissent puis obéissent au signal que les stations mobiles veulent transmettre. En pratique, l'interférence est réalisée en construisant un réseau d'antennes avec plusieurs antennes et en envoyant des copies hors phase du même signal à partir de chaque antenne du réseau [14]. Plusieurs travaux ont été menés pour classer les techniques de formation de poutres en fonction de leurs propriétés physiques. Classification des faisceaux techniques classés en deux grandes classes : formation de faisceaux par commutation et formation de faisceaux adaptative. De plus, il a été classé sur la base du traitement du signal, en modulation de faisceau analogique, modulation de faisceau numérique et hybride analogique / numérique, plusieurs algorithmes ont été introduits pour développer la technologie et pour augmenter et améliorer les performances des antennes de formation de faisceaux adaptatives [15]

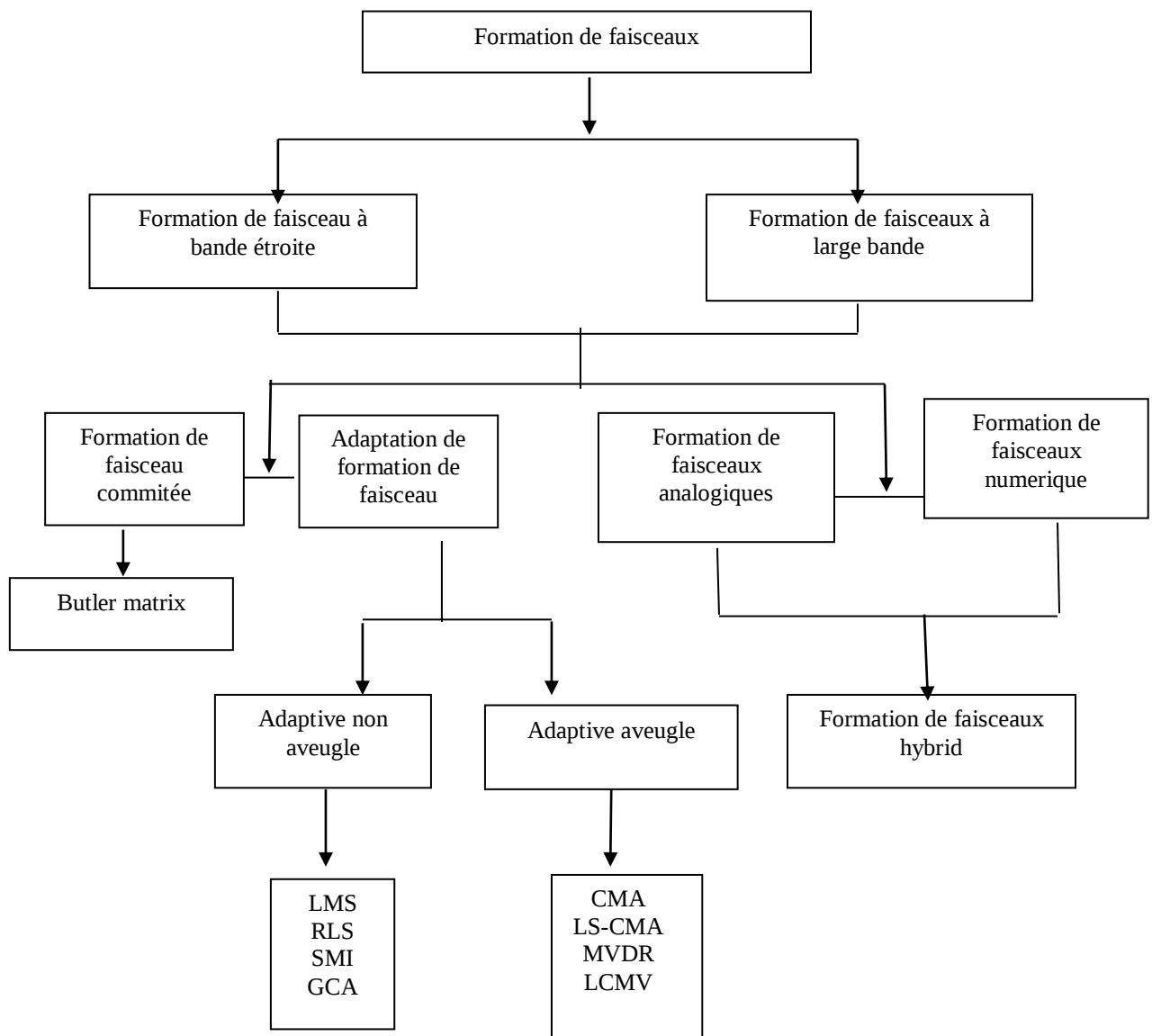


Fig.2.2 Classification générale de formation de faisceaux

La formation de faisceaux peut être divisée en deux catégories selon la bande passante du signal : formation de faisceaux à large bande et formation de faisceau à bande étroite.

2.5.1. Formation de faisceau à bande étroite

Le modèle régulier de tableau étroit implique que la sortie de l'appareil et les spectres de signal et de bruit dans la bande passante du capteur sont presque constants. Cependant, dans de nombreuses implémentations fonctionnelles impliquant des réseaux de capteurs, tels que le traitement de la parole, le suivi acoustique. Le signal d'intérêt (SOI) est intrinsèquement sans fil, avec une fréquence allant jusqu'à de nombreuses octaves, et se distingue par une forte variabilité spectrale. En outre, si la bande passante se rapproche de quelques pour cent de sa fréquence centrale après la pré-lecture de l'unité de passage de sortie du capteur, le modèle de signal de tableau dans le domaine de temps n'est plus représenté par un mélange instantané, mais plutôt une convolution multi-canal [16]

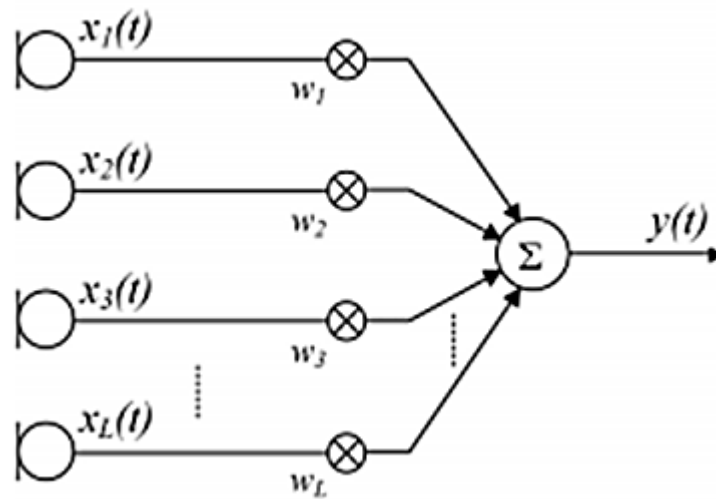


Fig.2.3 Formation de faisceaux à bande étroite[16].

2.5.2. Formation de faisceaux à large bande

Les formateurs de faisceaux à bande étroite sont basés sur l'hypothèse choisie. Les coefficients appliquent le même retard pour toutes les composantes du signal spectral du capteur. Cependant, il est important de traiter les signaux avec un cadre qui prend en compte différents déphasages de différentes composantes spectrales d'un signal à large bande lorsque les signaux sont à large bande. [17]

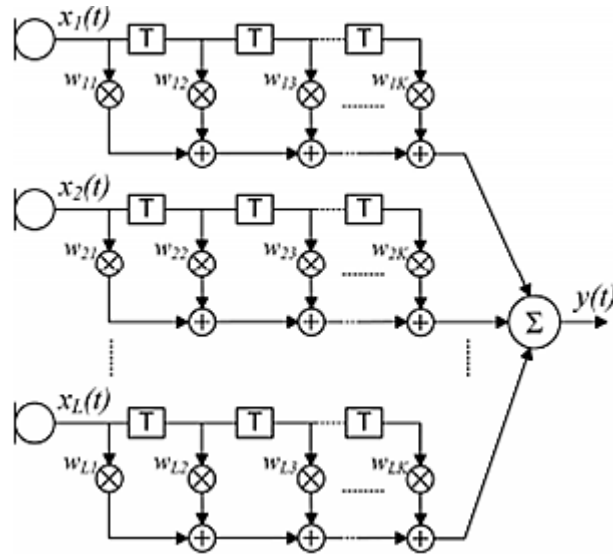


Fig.2.4 Formation de faisceaux à large bande[17].

Dans Fig.2.4 L est le nombre de microphones et K est le nombre d'éléments de retard dans chaque branche du tableau. Lorsque K égale 1, la structure représente un faisceau de bande étroite former. Cette structure permet de contrôler les phases et amplitudes de plusieurs composants spectraux au sein d'une bande de fréquence d'intérêt, par conséquent, il peut être utilisé pour le traitement du signal à large bande. De toute évidence, le la complexité computationnelle des opérations effectuées dans cette structure est plus grand que celui d'un faisceau à bande étroite [17]

2.5.3. Algorithmes adaptatifs de formation de faisceau

Dans les réseaux d'antennes adaptatifs de formation de faisceaux, selon le DOA, le faisceau d'estimation peut être dirigé vers la direction du signal souhaité, et l'annulation est appliquée aux directions indésirables du signal. Le DOA des signaux entrants et la direction des signaux d'interférence peuvent être facilement estimés par des antennes intelligentes. Ensuite, à l'aide d'un algorithme de formation de faisceaux, le faisceau de l'antenne est créé vers la direction souhaitée du signal, et l'in null est formé vers le interférer directions de signal. Les algorithmes adaptatifs de formation des faisceaux sont classés en deux types principaux : les algorithmes adaptatifs non aveugles et les algorithmes adaptatifs aveugles. L'équation générale pour la sortie de tableau adaptatif $y(t)$ est donnée par [15]

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{w}^H \mathbf{x}(t) \quad (2.6)$$

Où $\mathbf{w}^H$ dénote la transpose conjuguale complexe de le vecteur de poids. Les poids sont calculés dans un manière itérative basée sur le tableau $\mathbf{y}(t)$.

2.5.3.1. Algorithmes adaptatifs non aveugles

Dans les algorithmes adaptatifs non aveugles, un signal de référence est utilisé pour adapter continuellement les poids de la gamme. Par la suite, la réponse des poids à la fin de chaque itération est comparée au signal de référence, et le signal d'erreur produit est implémenté pour ajuster les poids dans les algorithmes. Le signal d'erreur est donné par

$$e(t) = d(t) - w^H x(t) \quad (2.7)$$

où $d(t)$ est le signal de référence [15]

Certains exemples d'algorithmes adaptatifs non aveugles sont l'algorithme LMS (least-mean-square), l'algorithme RLS (recursive-least-square), SMI(sample matrix inversion), et CG (conjugate gradient)

A. LMS Algorithme

Est approche quadratique basée sur le gradient le but des moins carrés est de trouver les poids du robinet du filtre optimal qui minimise la différence entre la sortie du système $y(n)$ et la réponse souhaitée $d(n)$ ou en d'autres termes pour minimiser la fonction de coût [18]

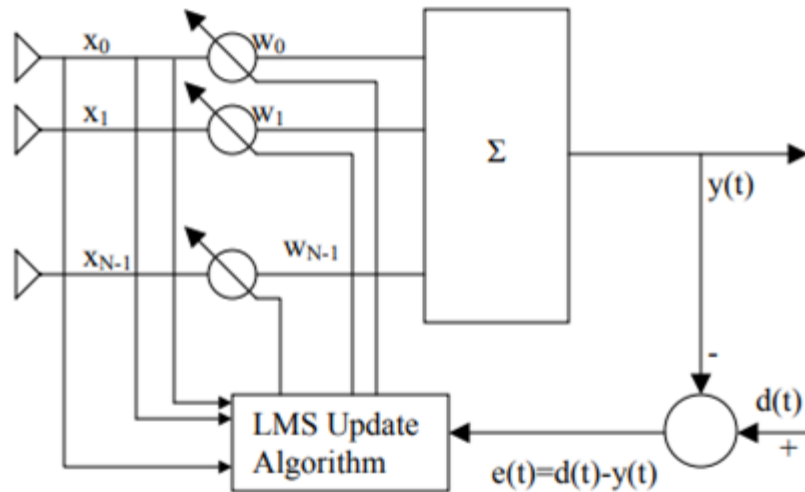


Fig.2.5 LMS réseau adaptatif de formation de faisceaux[18]

L'algorithme LMS peut être résumé dans les équations suivantes :

$$y(t) = w^H x(t) \quad (2.8)$$

Équation la sortie

$$e(t) = d^* - y(t) \quad (2.9)$$

Représenter l'équation $e(t)$ est l'erreur carrée moyenne entre la sortie de formateur de faisceau $y(n)$ et le signal de référence .

$$w(t+1) = w(t) + \mu x(t)e^*(t) \quad (2.10)$$

Et ça s'appelle équation de mise à jour de poids est connue.

L'algorithme LMS est lancé avec une valeur arbitraire $w(0)$ pour le vecteur de poids à $n = 0$. Les corrections successives du vecteur de poids conduisent enfin à la valeur minimale de la moyenne erreur au carré [19]

B. RLS algorithms

Est une autre classe d'algorithmes adaptatifs et la fonction de coût pour minimiser est une somme d'erreurs au carré .

Les estimations de l'algorithme RLS R_{xx} et r_{xd} en utilisant des sommes pondérées pour que :

$$R_{xx}[t] = \sum_{v=0}^t \beta^v x[t-v]x^H[t-v] \quad (2.14)$$

$$X_{xd} = \sum_{v=0}^t \beta^v x[t-v]$$

L'inverse de la matrice de covariance peut être obtenu de manière récursive, ce qui conduit au mettre à jour l'équation

$$w[t+1] = w[t] + S[t]X[t]e^*[t] \quad (2.15)$$

Où

$$G[t] = \frac{S[t-1]}{\beta + X^H[t]S[t-1]X[t]} \quad (2.16)$$

la convergence la vitesse de l'algorithme RLS est indépendante de la répartition eigenvalue de la corrélation matrice, and la différence entre les algorithmes LMS et RLS est de remplacer de μ par $s[n]$ dans l'affaire RLS par cette modification [20]

C. SMI Algorithm

L'algorithme d'inversion de matrice d'échantillon est discontinuif adaptatif algorithmes. La matrice de l'échantillon est une estimation moyenne temporelle de la matrice de corrélation de tableau utilisant des échantillons de k-time. [21]

$$R_{XX} \approx \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X(t)X^H(t) \quad (2.17)$$

$$r = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^N d^*(t)X(t) \quad (2.18)$$

La matrice $x_N(t)$ est définie comme le n-ième bloc de vecteurs x s'étend sur des instantanés de données N

$$x_N(t) = \begin{bmatrix} x_1(1+tN) & x_1(2+tN) & \cdots & x_1(N+tN) \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ x_N(1+tN) & x_N(2+tN) & \cdots & x_N(N+tN) \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

n représente le numéro de bloc, et N est la longueur du bloc

$$\text{Donc : } R_{xx}(t) = \frac{1}{N} X_N(t)X_N^H(t) \quad (2.20)$$

$$\text{Donc : } r = \frac{1}{N} d^*(t) X_N(t) \quad (2.21)$$

Est à noter que le SMI est un algorithme adaptatif de données de bloc. C'est l'algorithme le plus rapide pour estimer le vecteur de poids optimal, mais il a une grande complexité et l'instabilité numérique due à l'inversion d'une grande matrice [22]

D. CG Algorithme

l'algorithme de gradient conjugué (CG) pour le filtrage adaptatif où plusieurs modifications à la méthode CG originale sont proposées. Les taux de convergence et les erreurs d'inadaptation pour les deux approches sont comparés. Une analyse dans le domaine est utilisée afin de trouver les performances asymptotiques, et des limites de stabilité sont établies. Le comportement des algorithmes dans le calcul fini de mot-longueur sont décrits, et les considérations dynamiques de gamme sont discutées. [23]

Un algorithme peut être résumé comme suit

$$R_X(t) = \eta \frac{W(t)^H S(t-1)}{W(t)^H R(t) W(t)} \quad (2.22)$$

$$p(t) = p(t-1) + d(t)W(t) \quad (2.23)$$

$$S(t) = \lambda S(t-1) - G(t)R(t)W(t) + x(t)(d(t) - x(t)^H p(t-1)) \quad (2.24)$$

$$G(t) = \frac{(S(t) - \lambda S(t-1))^H S(t)}{S(t-1)^H S(t-1)} \quad (2.25)$$

$$W(t+1) = S(t) + X(t)W(t) \quad (2.26)$$

Il y a plusieurs modifications à l'algorithme du gradient conjugué, pour le filtrage adaptatif ont été décrits. Les algorithmes peuvent avoir les mêmes performances que certains algorithmes à taux de convergence élevée tels que le RLS et le LMS-Newton, avec l'avantage qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer l'inversion de matrice ou d'estimer Il a été démontré qu'il existe plusieurs façons de mettre en œuvre le algorithme, conduisant à des résultats différents. [23]

2.5.3.2. Algorithmes adaptatifs aveugles

A. CM Algorithme

Est un algorithme bien connu de la formation de faisceau adaptatif de l'adaptation aveugle et est utilisé dans de nombreuses applications pratiques, car il ne nécessite pas de synchronisation du transporteur. Ceci peut être appliqué avec succès aux signaux de modulus non constants si la kurtose est inférieure à deux. [24]

Le concept fondamental de l'adaptation aveugle à l'aide de l'AMC est que, tout signal perdra sa propriété CM lorsqu'il sera dégradé ou affecté par des interférences ou du bruit. La

méthode de correction ou de restauration d'un tel signal serait similaire au filtrage adaptatif, qui nécessite le calcul de valeurs Co-efficaces ou de poids qui produisent une sortie optimale. L'AMC utilise l'approche MMSE pour trouver les valeurs de poids optimales en utilisant la fonction de coût de la forme telle qu'elle est donnée dans l'équation ci-dessous.

$$J(t) = \{E[|y(t)|^p - 1^q]\} \quad (2.27)$$

$y(t)$ est la sortie de tableau, p et q sont le paramètre de performance, ils représentent les valeurs du facteur de dispersion.

Considérer $p=1$ et $q=1$ sont les meilleurs possibles pour être considérés pour des performances optimales de CMA .

$$\nabla_{j(CMA)} = \frac{1}{2} E[x(t)e^*(t)] \quad (2.28)$$

$$e^*(t) = y(t) - \frac{y(t)}{|y(t)|} \quad (2.29)$$

$$W_{CMA}(t+1) = W(t) - \mu \cdot \nabla_{j(CMA)} \quad (2.30)$$

$$W_{CMA}(t+1) = W(t) - \mu \cdot e^*(t)x(t)$$

On peut observer que le signal d'erreur $e^*(t)$,ne dépend pas de signal de référence, d'où l'algorithme aveugle nom est utilisé. L'AMC souffre de la vitesse de convergence et donc l'AMC de base a été modifiée. [25]

B. LS-CM Algorithme

(LS-CMA) qui est un algorithme itératif de mise à jour de bloc qui est garanti pour être stable et facilement implémenté. À la n -itération, des échantillons n -temporels de la sortie formateur de faisceau sont générés à l'aide du vecteur de poids actuel W_t . Cela donne :

$$y_k(t) = W^H X(t) \quad (2.31)$$

$$d_k(t) = \frac{y_k(t)}{|y_k(t)|} \quad (2.32)$$

$$\text{Et soisun nouveau vecteur est formé : } W_{(t+1)} = R_{xx}^{-1} r_{xd} \quad (2.33)$$

Donc

$$R_{xx} = (X(t)X^H(t))_N \quad (2.34)$$

$$r_{xd} = (X(t)d_k^*(t))_N$$

L'itération décrite ci-dessus se poursuit jusqu'à ce que soit le changement de poids vecteur est plus petit qu'un seuil ou jusqu'à ce que la variance de l'enveloppe du signal de sortie est réputée suffisamment petit. Lorsque l'itération est effectuée à l'aide un nouveau bloc de données qu'il est connu sous le nom dynamique LS-CMA. Mais lorsqu'il est réappa appliquent au même bloc de données, il est connu comme LS-CMAstatique. [26]

C. LCMV Algorithme

Il s'agit de techniques de traitement de signaux multicanaux qui améliorent les signaux acoustiques à partir d'une position particulière connue a priori tout en réduisant les signaux provenant d'autres directions. Et il Le formateur de faisceau optimal est conçu pour minimiser la puissance de sortie du réseau tout en maintenant une réponse à un signal d'intérêt (SOI) . [27]

Le fonctionnement de cet algorithme peut être compris avec les équations suivantes

$$y(t) = W_{CMA}^H(t).X(t) \quad (2.35)$$

$$W_{CMA}(t+1) = W(t) - \mu \cdot y(t) - \frac{y(t)}{|y(t)|} X(t) \quad (2.36)$$

$$Z(t) = W_{CMA} \cdot x(t) \quad (2.37)$$

$$e(t) = d(t) - Z(t) = d(t) - W_{LSCMA} \cdot x(t) \quad (2.38)$$

$$W_{LSCMA}(t+1) = W_{LSCMA}(t) + \mu e(t)x(t) \quad (2.39)$$

$$W_{LCMV} = g * \frac{R_{xx}^{-1}a(\theta)}{a^H(\theta)R_{xx}^{-1}a(\theta)} \quad (2.40)$$

L'équation 2.35 représente l'algorithme CMA et l'équation 4 représente LMS, LSCMA est un algorithme hybride qui combine un algorithme non aveugle et aveugle.

D. MVDR Algorithme

Il algorithme MVDR dépend des vecteurs de direction, qui à leur tour dépendent de l'angle d'incident du signal reçu de l'élément de l'antenne de réseau. La direction du signal utile doit être connue et la puissance de sortie soumise à une contrainte de gain d'unité dans la direction du signal désiré doit être réduite au minimum [28].

La sortie de tableau est donnée par

$$y(t) = W^H X \quad (2.41)$$

La puissance de sortie est la suivante:

$$p = \{|y|^2\} = E\{W^H X X^H W\} = W^H E\{X X^H\} W = W^H R \quad (2.42)$$

x et H est la transposition hermitienne. Les poids optimaux sont sélectionnés pour minimiser la puissance de sortie du réseau P_{MVDR} tout en conservant le gain unitaire dans la direction d'observation $a(\theta)$, qui est le vecteur de direction du signal souhaité. L'algorithme adaptatif MVDR peut être écrit comme suit:

$$\min_w \{W^H R w\} \text{ sujet à } w^H a(\theta) = 1$$

$$a(\theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp\{j \frac{2\pi}{\lambda} (\sin \theta_i) d\} \\ \exp\{j \frac{2\pi}{\lambda} (\sin \theta_i) (m-1) d\} \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

où d est l'espace entre les éléments de l'antenne, θ_i est l'angle souhaité, et m est le nombre d'éléments. Nous obtenons des vecteurs d'optimisation en utilisant la formule suivante :

$$W_{MVDR} = \frac{R^{-1}a(\theta)}{a^H(\theta)R^{-1}a(\theta)} \quad (2.44)$$

Le Beamformer MVDR est une solution adaptative de faisceau de données dont le but est de minimiser la variance du signal enregistré. Si le bruit et le signal désiré sous-jacent ne sont pas corrélés, comme c'est généralement le cas, alors l'écart du signal enregistré est la somme des écarts du signal désiré et du bruit. Par conséquent, la solution MVDR cherche à minimiser cette somme, atténuant ainsi l'effet du bruit.[29]

2.5.4. Algorithmes de formation de faisceaux commutés :

Un système de faisceau commuté se compose d'un coupler hybride de commutation de faisceau avec la différence de phase dans la sortie des bras et de l'antenne de tableau à travers et couplés . Un système de faisceau commuté dépend d'un réseau de formation fixe de faisceaux qui produit des faisceaux prédéfinis établis. Peut-être la solution la plus courante pour la formation de faisceau fixe est la matrice Butler, qui a été développée par Butler et Ralph (1961) [15]

2.5.4.1. La matrice Butler

Le Butler Matrix (BM) est un beamformer de circuit composé de coupleurs hybrides 3dB interconnectés et de quarts de phase fixes, et est un réseau d'alimentation passive $N \times N$ avec des capacités de direction de faisceau pour les antennes de tableau phased avec des sorties N reliées aux éléments d'antenne et aux entrées N ou ports de faisceau , où $N = 2^n$ (et n est un entier positif) pour former le réseau et pour une matrice $N \times N$, N directions possibles du faisceau peuvent être formées. Un total de $\left(\frac{N}{2}\right) \log_2 N$ des coupleurs hybrides et $\left(\frac{N}{2}\right) \log_2 N(N-1)$ déphaseurs fixes sont nécessaires pour former le réseau [30]

Une matrice 8x8 Butler est montrée dans la fig 2.6 La matrice Butler effectue une transformation spatiale rapide Fourier et fournit 2^n Orthogonale Poutres. Ces faisceaux sont des combinaisons linéairement indépendantes des modèles d'éléments de tableau

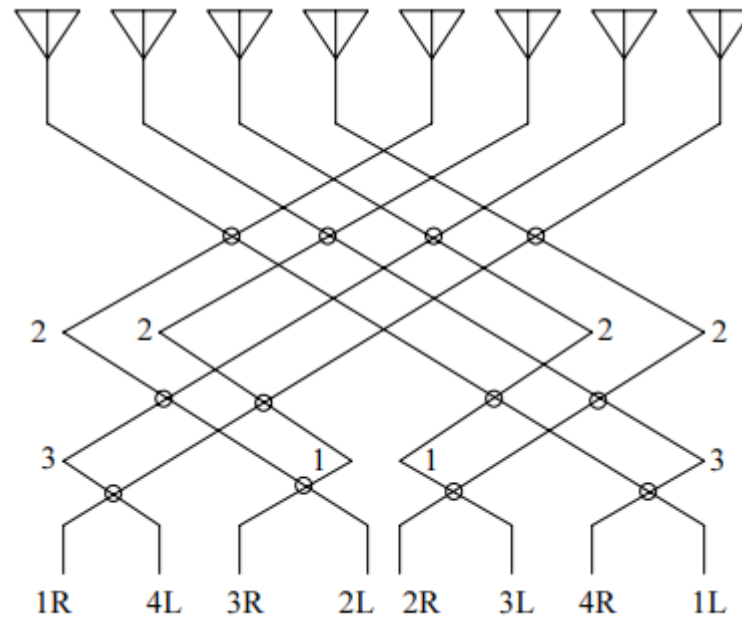


Fig.2.6 Une matrice Butler 8x8 alimentant un tableau à 8 éléments. Les cercles sont des hybrides à 90° et les nombres sont des changements de phase en unités de $\pi / 8$ [30]

2.5.5. Formation de faisceaux analogiques, numériques

Et il y a une classification dans les classifications de formation de paquets et elle est divisée en deux types. : Analogique, numérique . Les antennes analogiques de formation de faisceau sont composées de matrices hybrides et de quarts de phase fixes. Le concept principal derrière l'analogique la formation des faisceaux contrôle la phase de chaque signal transmis à l'aide de quarts de phase à faible coût. Un interrupteur radiofréquence sélectif (RF) est utilisé pour faciliter la fonction de direction du faisceau (angle de direction) [15].

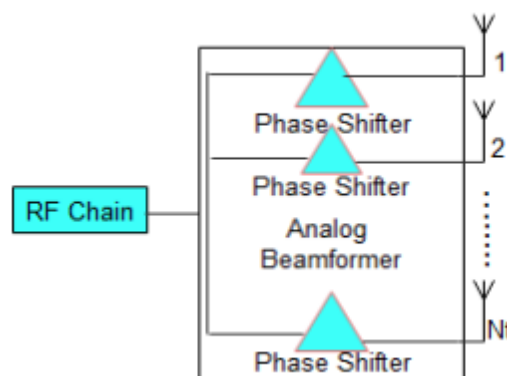


Fig.2.7 Formation de faisceaux analogique[31]

Digital Beam Forming (DBF) est un mariage entre la technologie des antennes et la technologie numérique. Un processeur de signal numérique offre plus de liberté avec une plus

grande flexibilité pour exécuter un algorithme efficace de formation de faisceau [31]. et la mise en œuvre de la forme de faisceau numérique est ne convient pas aux systèmes MIMO massifs parce que le faisceau traditionnel est mis en œuvre à la bande de base, ce qui aide à contrôler la phase et l'amplitude du signal ; par conséquent, il exige que la fréquence du transporteur du signal traité soit convertie en hausse après une chaîne RF multi-segment, qui comprend des convertisseurs numériques-analogue (D/A). La partie numérique de formation de faisceau crée des signaux de bande de base, tandis que la partie analogique de faisceauforme répond aux effets de chaîne de RF en réduisant le nombre d'ADC/DACs, ce qui améliore les extrants d'amplificateurs de puissance ou change l'architecture des mélangeurs et permet ainsi des économies de coûts [15]

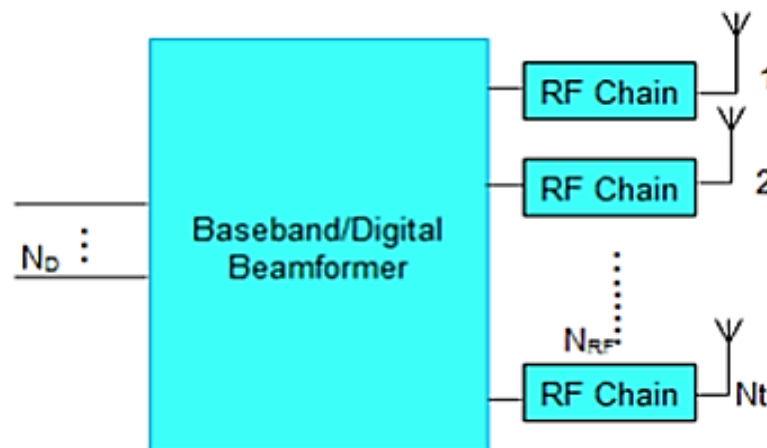


Fig.2.8 Formation de faisceaux numérique[31].

2.5.5.1. Hybride formation de faisceaux

Le faisceau analogiqueformant et le faisceau numériqueformant méthodes ayant leurs propres avantages et inconvénients pour cette raison, une autre méthode est nécessaire pour surmonter le inconvénients, c'est-à-dire la méthode hybride de formation des faisceaux. Lla l'architecture de cette méthode est réduite en raison de gros millimètres d'antennes d'ondes. Il existe deux types d'hybrides architectures de faisceauforme, la première est, les antennes sont attaché à chaque système présent de chaîne RF, le second contient un groupe d'antennes présentes dans le système qui sont connecté à la chaîne RF unique. L'avantage de l'utilisation La méthode hybride de formation de faisceau est meublée presque optimale performance ainsi que la diminution du matériel et du signal complexité traitement. [32]

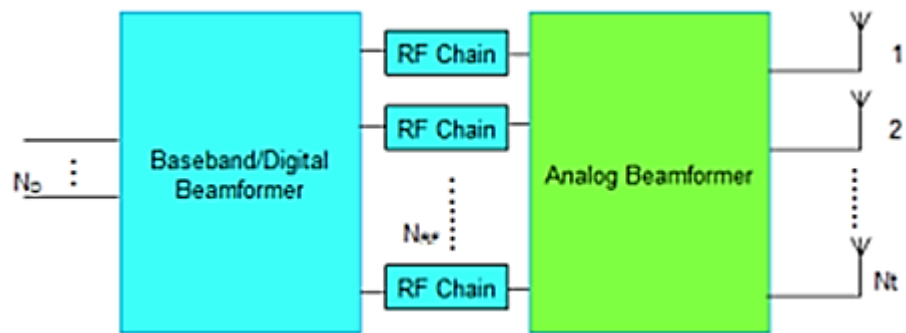


Fig.2.9 Formation de faisceaux hybride[31]

2.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous introduisons le concept de formation de faisceaux dans le système MIMO, Nous avons présenté les classifications de la formation de faisceaux qui ont été étudiées par plusieurs scientifiques et chercheurs, et elle a été divisée en deux bandes, bande étroite et large, ce sont deux bandes divisées en plusieurs classes qui sont la formation de faisceaux analogiques et numériques et la formation de faisceaux de commutation et la formation de faisceaux adaptatifs, qui peut être classé en deux types, aveugle et non aveugle, que nous simulerons dans le prochain chapitre .

Chapitr III :
Simulation et résultats

3.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons une étude comparative des performances des deux techniques de formateur de faisceau adaptative aveugle MVDR et LCMV en termes d'interférences et types d'antennes (ULA et URA) dont l'objectif est de récupérer le signal d'origine envoyé par l'émetteur. Ainsi, nous avons fait une étude comparative des performances des deux techniques de formateur de faisceau adaptative non aveugle LMS et RLS.

Ces dernières sont réalisées en utilisant le logiciel MATLAB® qui dispose d'une riche bibliothèque pour les calculs matriciels

3.2. ULA (Réseau linéaire uniforme)

Est un ensemble d'éléments de capteur espacés de manière égale le long d'une ligne droite. Les exigences d'un ULA sont différentes pour différentes applications, mais l'exigence la plus courante est d'améliorer le rapport signal sur bruit (SNR) et d'améliorer sa réponse (gain) dans une direction particulière. Fig.3.1 montre le réseau d'antenne ULA (Uniform Linear Array).

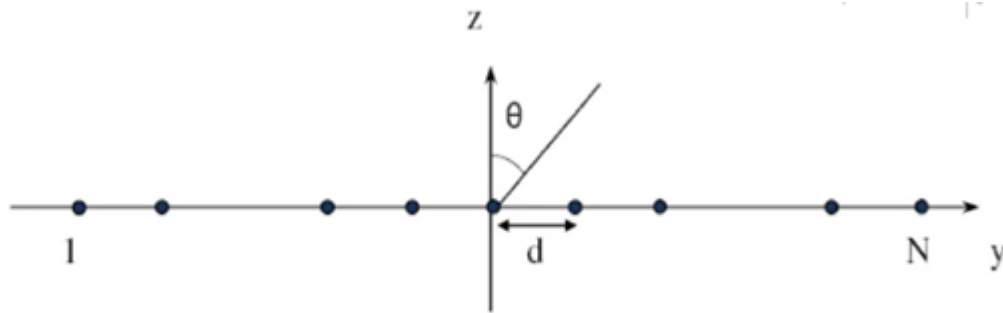


Fig 3.1 ULA (Réseau linéaire uniforme) [34]

3.3. URA(Réseau Rectangulaire Uniforme)

Réseau rectangulaire uniforme $M \times N$ disposé dans le plan X-Y contient M éléments le long de l'axe X avec une distance uniforme d_x et N éléments le long de l'axe Y avec une distance uniforme de d_y entre les capteurs. fig.3.2 montre le reseau d'antenne URA (Uniform Réseau Array)

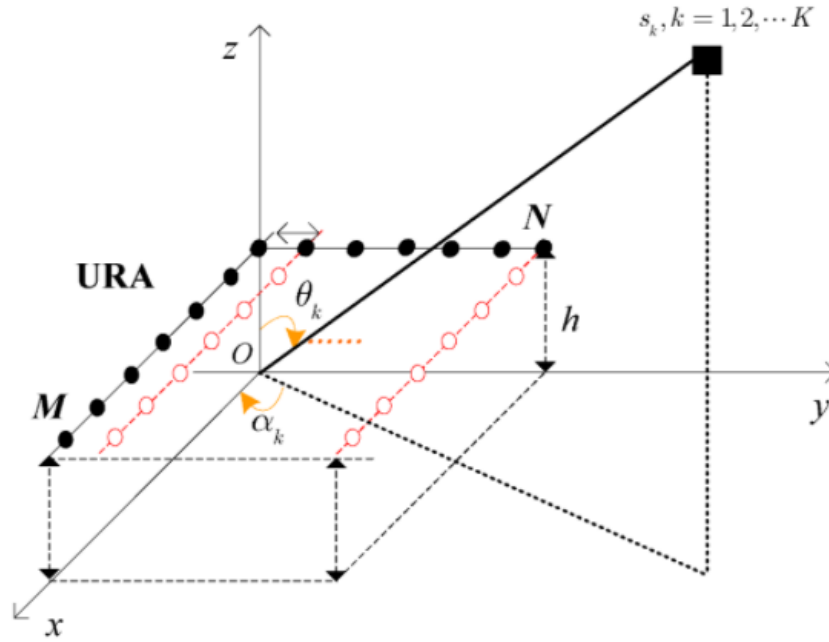


Fig. 3.2 URA (Réseau Rectangulaire Uniforme) [35]

3.4. Résultats de simulation de formation de faisceau adaptative aveugle

3.4.1. Du signal reçu

Dans cette section, nous explorons comment le faisceau numérique est formé sur un signal de bande reçu par un réseau d'antennes, le signal envoyé est une simple impulsion rectangulaire où la fréquence du porteur est de 25 GHz. La matrice linéaire ULA unifiée a été utilisée pour recevoir le signal contenant une matrice de 15 antennes avec une longueur d'onde de $\frac{\lambda}{2}$, ce signal est reçu à 35 degrés dans l'azimut et 0 degrés d'élévation, nous avons imposé une puissance de bruit de 0,5 watts, ce qui correspond à un rapport signal / bruit (SNR) de 30 dB au niveau de chaque élément d'antenne.

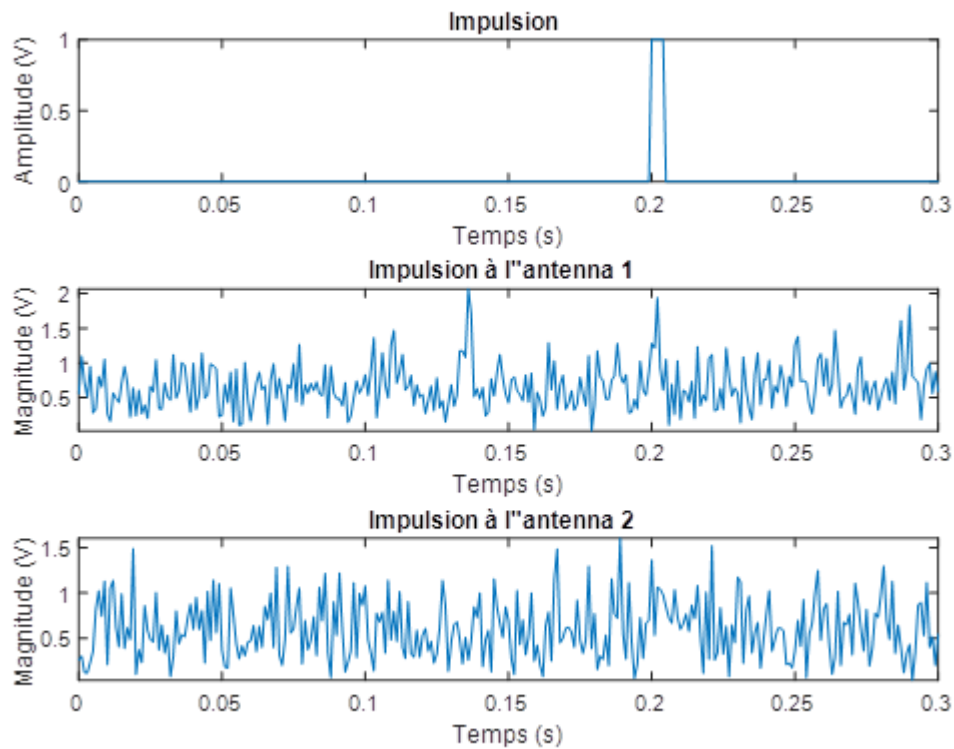


Fig. 3.3 Comparaison entre l'impulsion du récepteur et l'impulsion de l'émetteur

Fig.3.3 montre une comparaison entre l'impulsion du récepteur et l'impulsion de l'émetteur pour un seul élément (sans formation de faisceau). Où nous notons que le signal utile n'a pas pu être détecté en raison du bruit

3.4.2. Faisceau de déphasage

Dans cette partie on a fait une comparaison entre la sortie d'un seul élément (non formé par un faisceau) et la sortie du formateur de faisceau par déphasage.

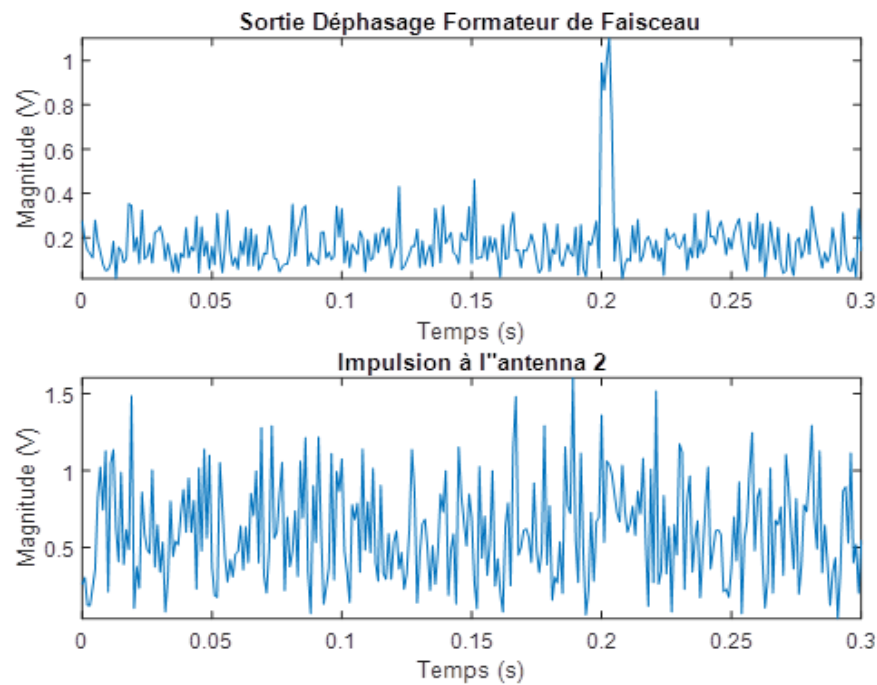


Fig.3.4 Comparaison les signaux entre la sortie d'un seul élément (non formé par un faisceau) et la sortie du formateur de faisceau (déphasage).

Fig.3.4 montre la sortie d'un seul élément (non formé par un faisceau) par rapport à la sortie du formateur de faisceau. Lorsque le signal reçu n'est pas formé en faisceau, l'impulsion ne peut pas être détectée en raison du bruit, mais la sortie du formateur de faisceau montre que le signal formé par le faisceau est beaucoup plus grand que le bruit.

☒ Spectre de puissance du Faisceau de déphasage

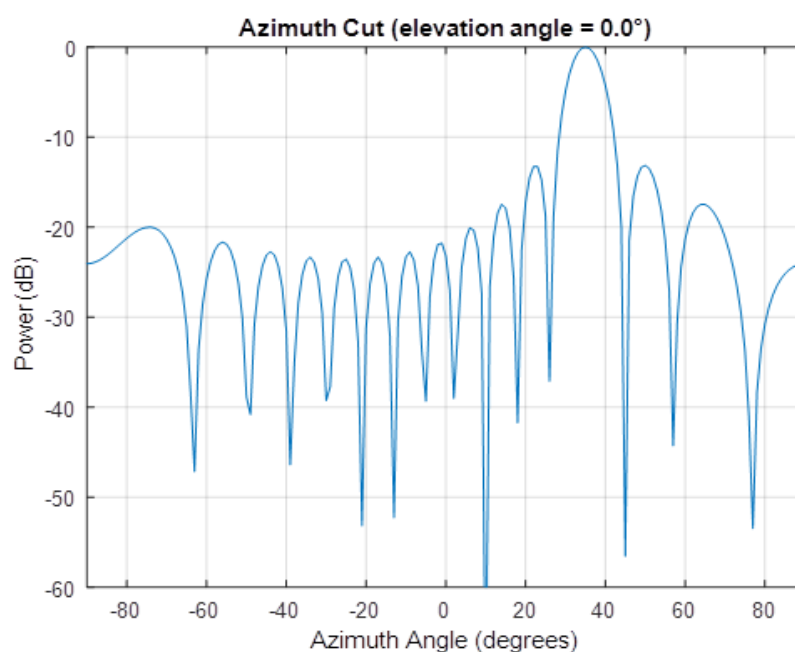


Fig.3.5 Spectre de puissance du Faisceau de déphasage

Dans la fig.3.5 représente le spectre de puissance du formateur du faisceau, nous pouvons voir le faisceau principal dans la direction souhaitée 35 degrés.

3.4.3. Evaluation de performance de déphasage et MVDR en termes d'interférences

Dans cette partie on a fait une comparaison entre la technique conventionnelle de formation de faisceau basée sur le déphasage des éléments et la technique adaptative (aveugle) MVDR.

Nous avons ajouté deux signaux d'interférence de 25 degrés et 40 degrés en azimuth avec le bruit au signal arrivant par les deux techniques mentionnées ci-dessus dont le signal du faisceau principal est dans la direction de 35 degrés.

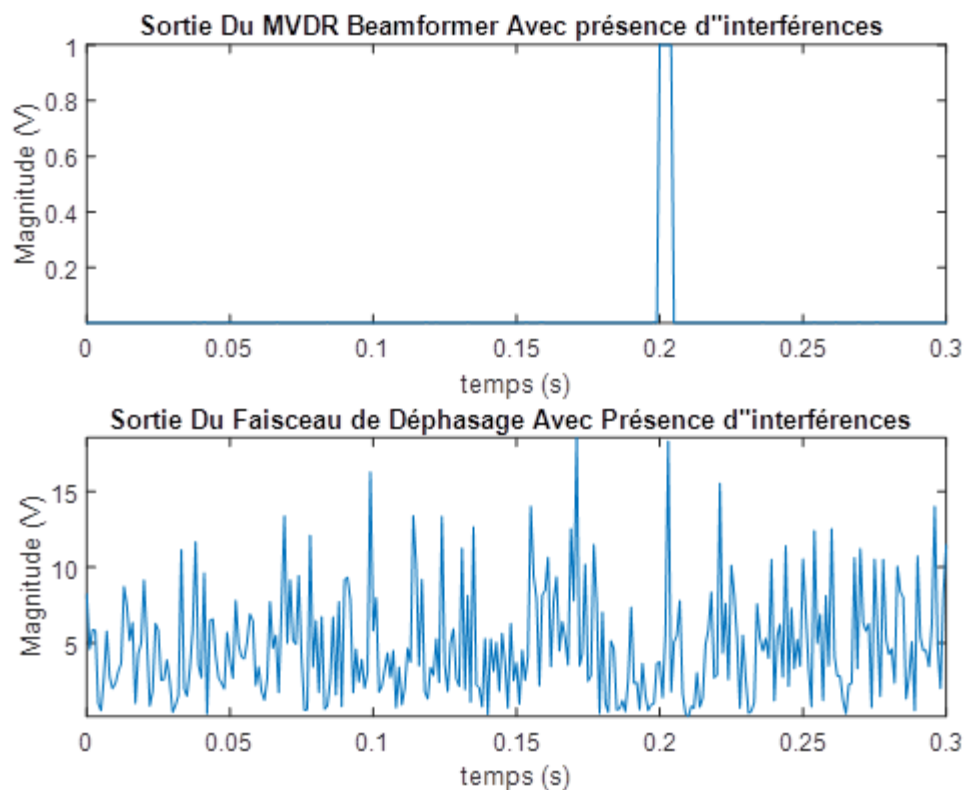


Fig. 3.6 Comparaison des signaux d'interférence entre déphasage et MVDR

Fig.3.6 montre le résultat de simulation pour le cas des deux formateurs de faisceaux, formateur par déphasage (figure en haut) et formateur basé sur la technique MVDR (figure en bas). On peut remarquer que lorsque le formateur de faisceau à déphasage n'est pas capable de détecter les impulsions par ce que les signaux d'interférence sont beaucoup plus puissants que le signal utile qui est un signal d'impulsion tandis que la sortie de formateur de faisceau MVDR a montré qu'il est capable de détecter le signal utile (impulsion). On peut constater

alors que la technique d' MVDR préserve le signal arrivant le long d'une direction souhaitée, tout en essayant de supprimer les signaux d'interférence.

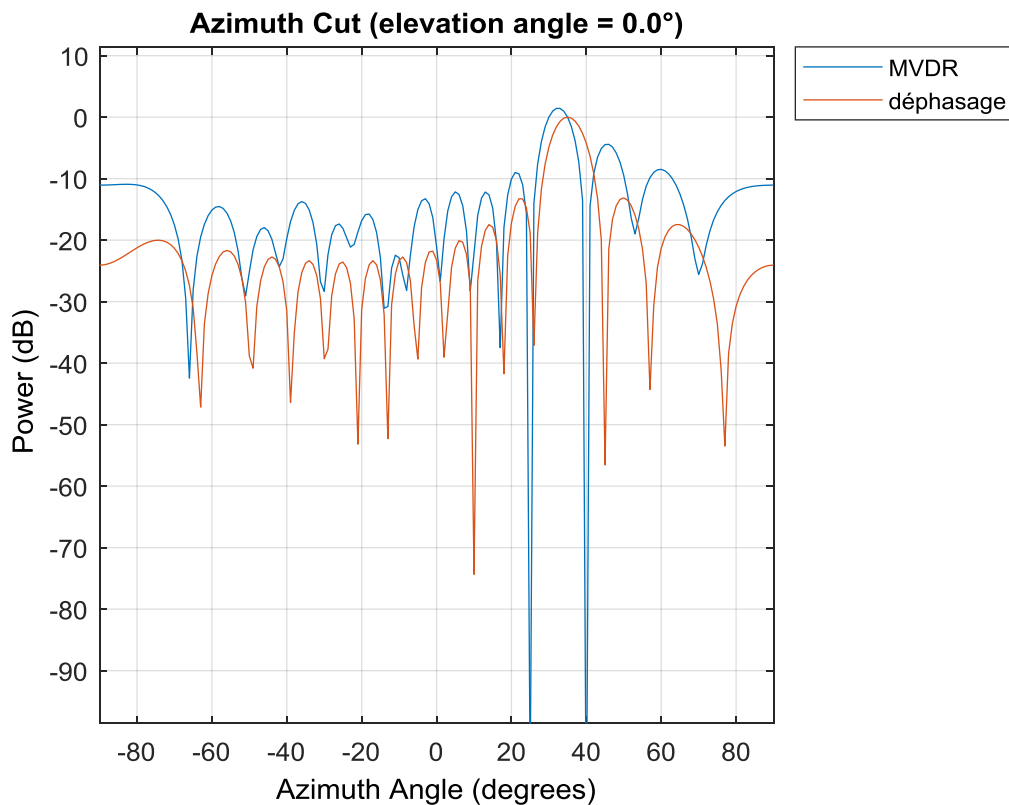


Fig.3.7 Comparaison du modèle de réponse entre déphasage et MVDR en termes de réponse du réseau d'antennes de la formation de faisceau, pour le cas de 0 degré d'élévation avec les poids appliqués.

Fig.3.7 pour voir le diagramme de rayonnement de la formation de faisceau pour les deux techniques de formation de faisceau MVDR et déphasage on a tracé la réponse de réseau d'antenne à 0 degrés d'élévation.

Nous avons observé que le signal issu du formateur de faisceau de déphasage (phase shift) n'est pas capable de supprimer les interférences provenant à 25 et 40 degré mais il est aisé de conclure la suppression complète pour le cas de MVDR, On peut conclure que pour surmonter le problème d'interférence, nous utilisons la formation de faisceau adaptatif MVDR.

3.4.4. Une comparaison des configurations de faisceaux MVDR et LCMV

Dans cette partie on fait une comparaison entre deux la technique de formation de faisceau adaptative (aveugle) MVDR et LCMV. Nous avons ajouté deux signaux d'interférences à 31 degrés et 35 degrés en azimuth avec le bruit au signal arrivant et nous gardons le signal reçu de la direction positionnée (33 degrés).

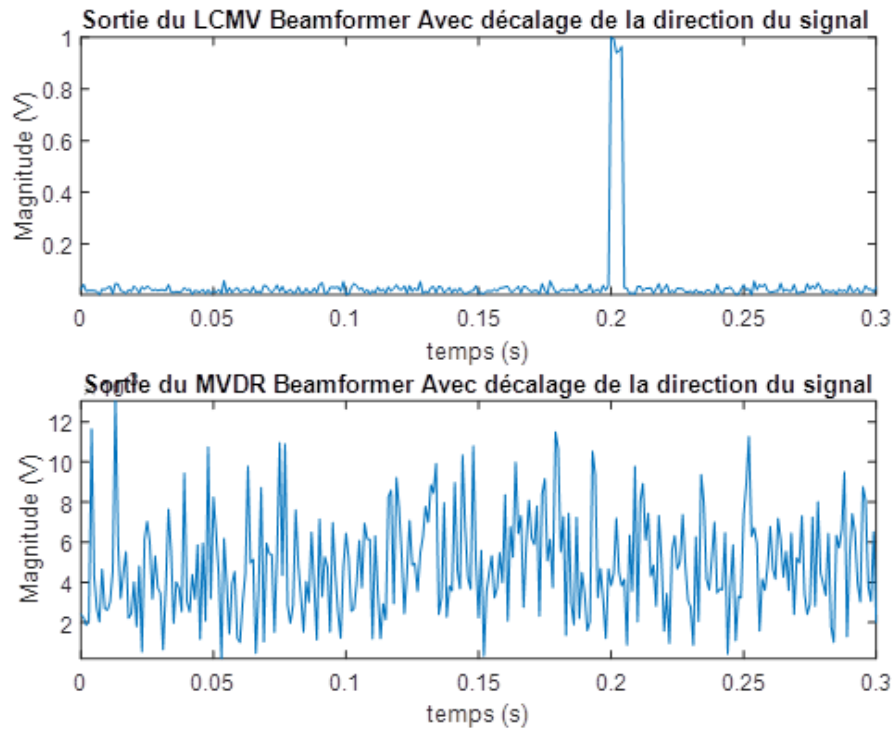


Fig.3.8 comparaison des configurations de faisceaux entre MVDR et LCMV.

Fig.3.8 montre la sortie du formateur de faisceau (MVDR) par rapport à la sortie de formateur de faisceau (LCMV). Dont, il est aisément de conclure que le MVDR n'a pas permis de voir le signal cible, parcontre la technique LCMV nous a donné avec clarté le signal cible.

☒ Comparaison du modèle de réponse entre LCMV et MVDR

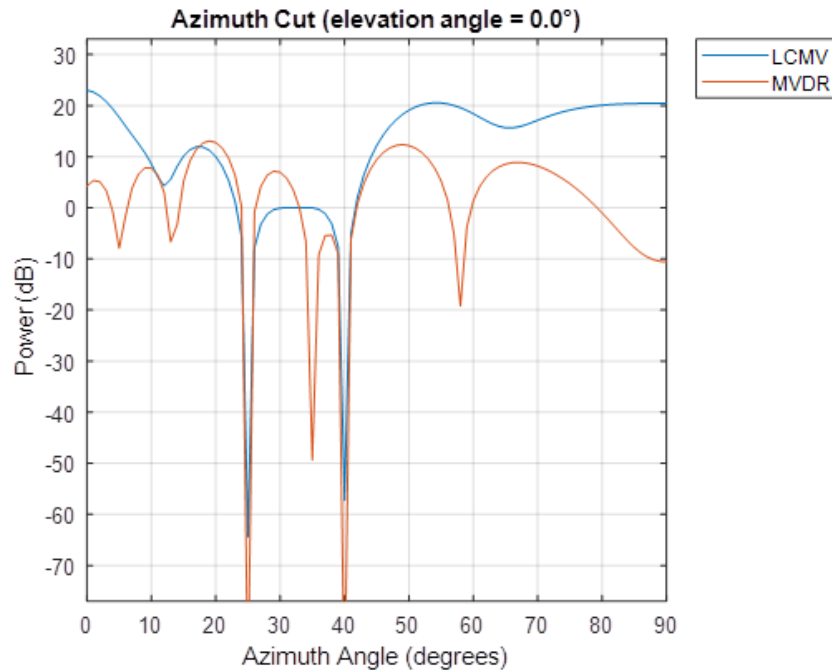


Fig.3.9 Comparaison du modèle de réponse entre LCMV et MVDR

Fig.3.9 illustre une comparaison entre la formation du faisceau par MVDR et LCMV. On remarque que le formateur de faisceau LCMV a maintenu la zone de réponse à plat d'environ 35 degrés dans l'azimut tandis que le MVDR a créé un faisceau vide.

La technique de formation de faisceaux par MVDR ne peut pas séparer les interférences du signal cible car il est reçu dans une direction légèrement différente. Cet effet est appelé auto-annulation du signal, pour éviter cette auto-annulation, nous utilisons l'outil de modulation de rayons LCMV qui permet de placer plusieurs restrictions le long de la direction de la cible et réduit la suppression du signal lorsqu'il atteint un angle un peu différent.

3.4.5. Formation de faisceaux en matrice 2D

Dans cette partie, nous expliquons l'utilisation de la formation de faisceaux avec URA et appliqué de la même manière que ULA. Nous avons utilisé la formation de faisceau MVDR. URA se compose de 10 lignes et 5 colonnes d'éléments d'antenne isotropes. L'espacement entre les lignes et les colonnes est de 0,4 et 0,5 longueur d'onde, respectivement.

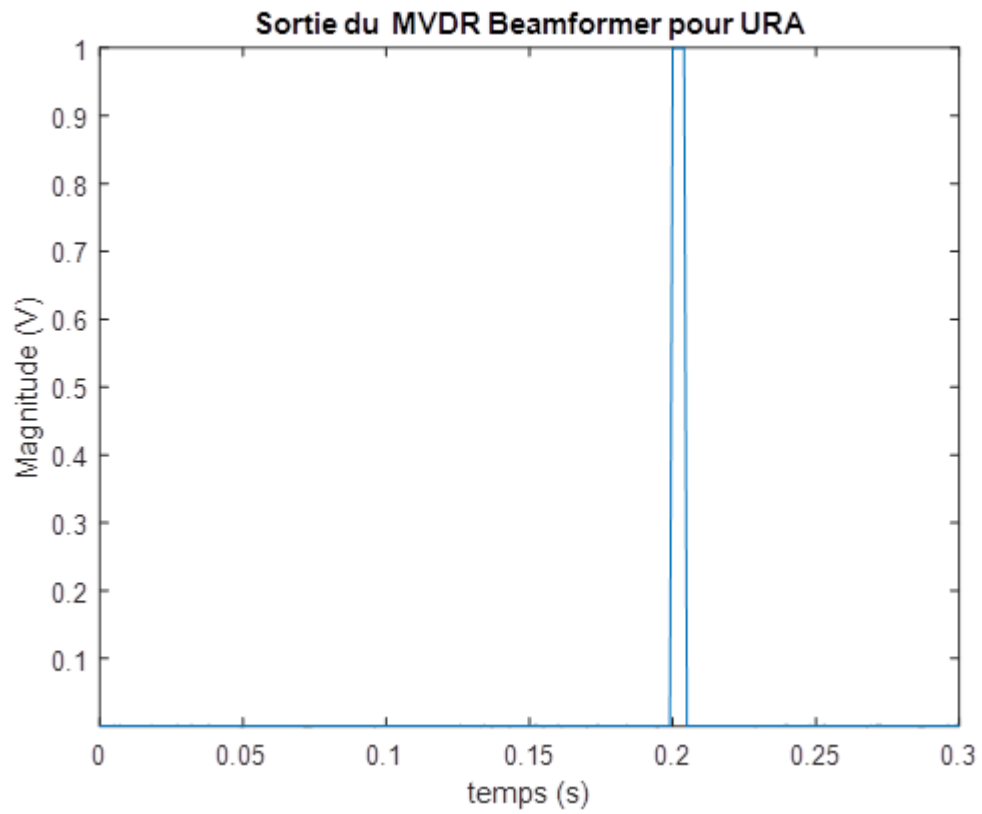


Fig.3.10 Sortie du formateur de faisceau MVDR pour URA.

Fig.3.10 montre la sortie de formateur de faisceaux MVDR, nous remarquons que les deux signaux d'interférence ont été supprimés et que l'impulsion d'azimut à 35 degrés a été préservée.

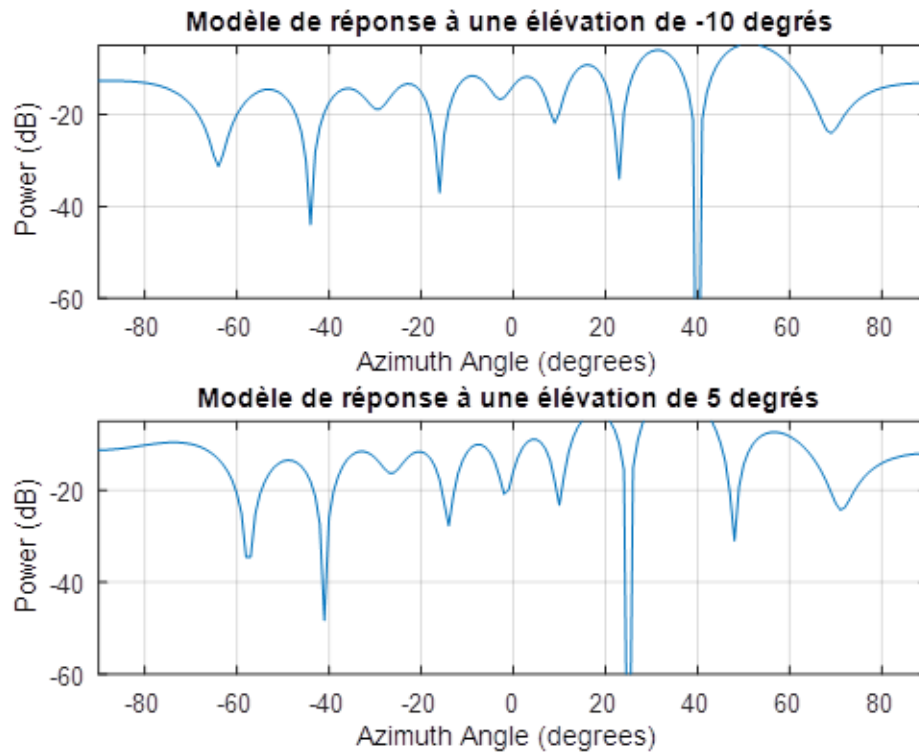


Fig.3.11 Modèle de réponse à une élévation de 5 et -10 degrés (par MVDR).

La Fig 3.11 montre le modèle de réponse à une élévation de -10 et 5 degrés, nous remarquons le formateur de faisceau MVDR préserve le signal arrivant le long d'une direction souhaitée, tout en réduisant les signaux d'interférences.

3.5. Simulation formation de faisceau adaptive non aveugle

3.5.1. LMS

L'algorithme LMS est relativement facile à mettre en œuvre et ne nécessite pas de calcul de fonction de corrélation ni d'inversion de matrice.

Les paramètres suivants sont considérés pour l'algorithme LMS pour simuler et obtenir un signal souhaité et un signal d'interférence.

- Angle d'arrivée du signal souhaité : 35 degré.
- Angle d'arrivée du signal brouilleur : 10 degré.
- $N = 8$ = nombre d'éléments du réseau d'antennes
- $d = \lambda / 2$ = espacement inter-éléments

A) Effet de la variation de la distance inter-éléments, pour réseau d'antennes

1) Pour : $d = 0.5 \lambda$

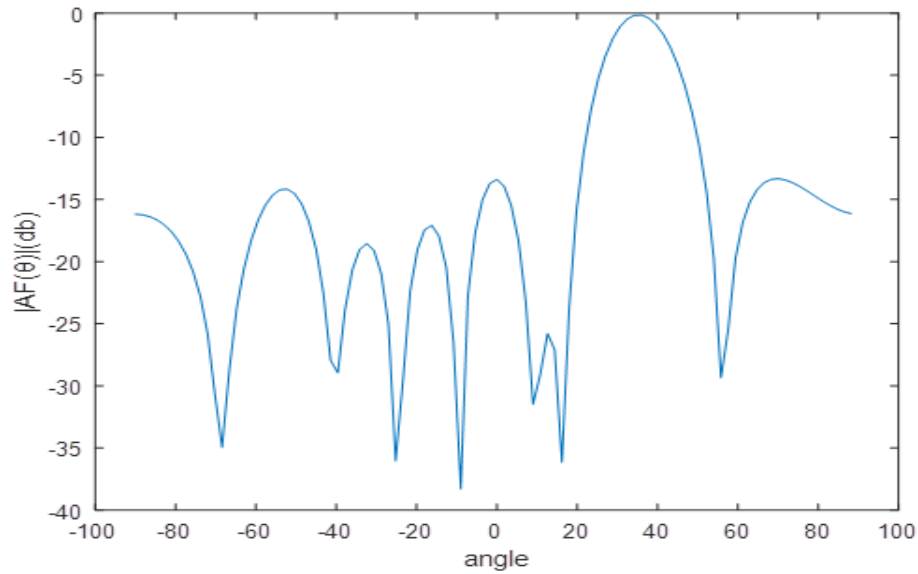


Fig.3.12 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme LMS pour 8 éléments réseau d'antennes $d = 0.5 \lambda$

La fig3.12 montre le modèle de faisceau pour l'algorithme LMS pour l'angle souhaité à 35 degré et un signal d'interférence à 10 ° avec un $d = \lambda / 2$, $N = 8$. Le graphique montre que l'algorithme LMS a placé nul profond à 10 ° et maximum à 35 degré.

2) $d = 0.125 \lambda$

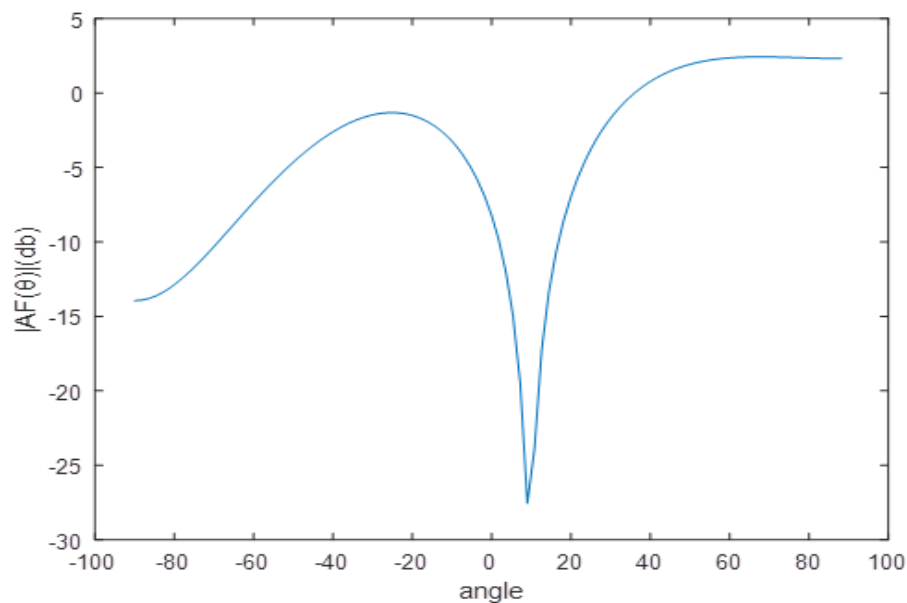


Fig.3.13 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme LMS pour 8 éléments réseau d'antennes $d = 0.125 \lambda$.

La fig3.13 montre le modèle de faisceau pour l'algorithme LMS pour l'angle souhaité à 35 ° et un interférence à 10 ° avec un $d = 0.125 \lambda$, $N = 8$.

Les résultats de la simulation montrent qu'en tant qu'inter-élément espacement, la distance diminuer d'avantage de la fusion des lobes principaux et ne former pas des faisceaux séparés pour l'angle souhaité de 35° et cela conduit à une diminution de la précision de l'algorithme LMS

B) Effet de la variation du nombre d'éléments

1) pour $N=4$

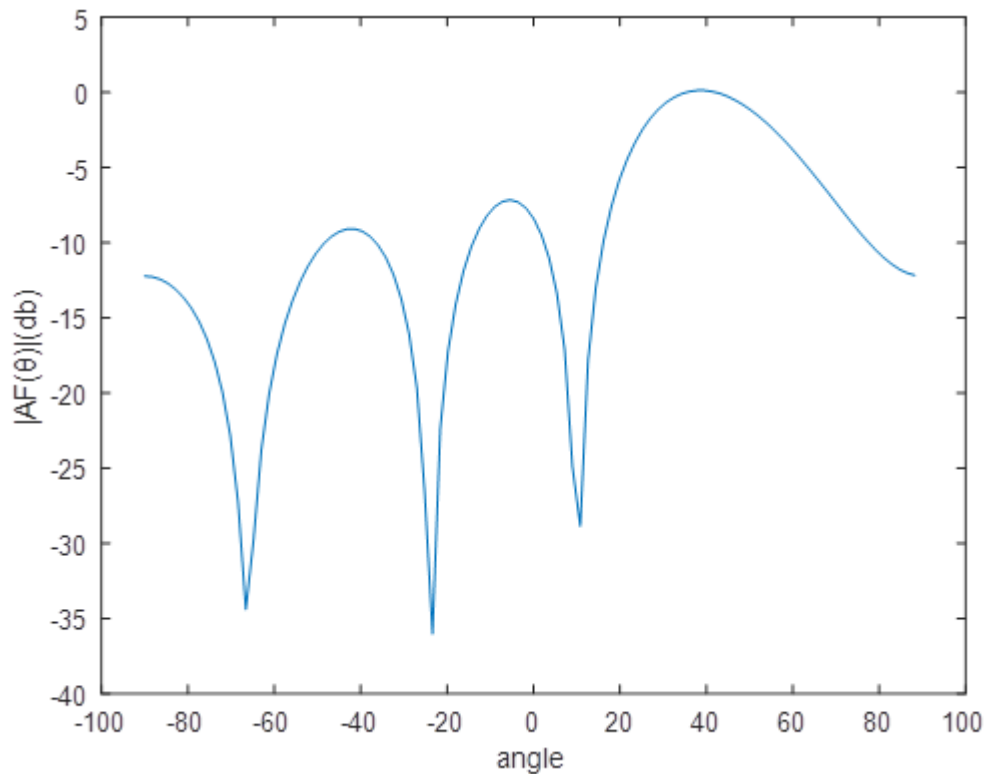


Fig.3.14 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme LMS pour 4 éléments réseau d'antennes

$$d = 0.5 \lambda.$$

La fig3.14 montre le modèle de faisceau pour l'algorithme LMS pour un nombre des éléments de la matrice par $N = 4$ pour l'angle d'entrée souhaités de 35° et pour un signal d'interférence à 10° .

Le résultat de la simulation montre que le nombre de la matrice des éléments diminuent, le lobe principal deviennent le plus grand réduisant de la précision de l'algorithme LMS. Bien que le nul à 10° semble être exacte.

2) pour $N=16$

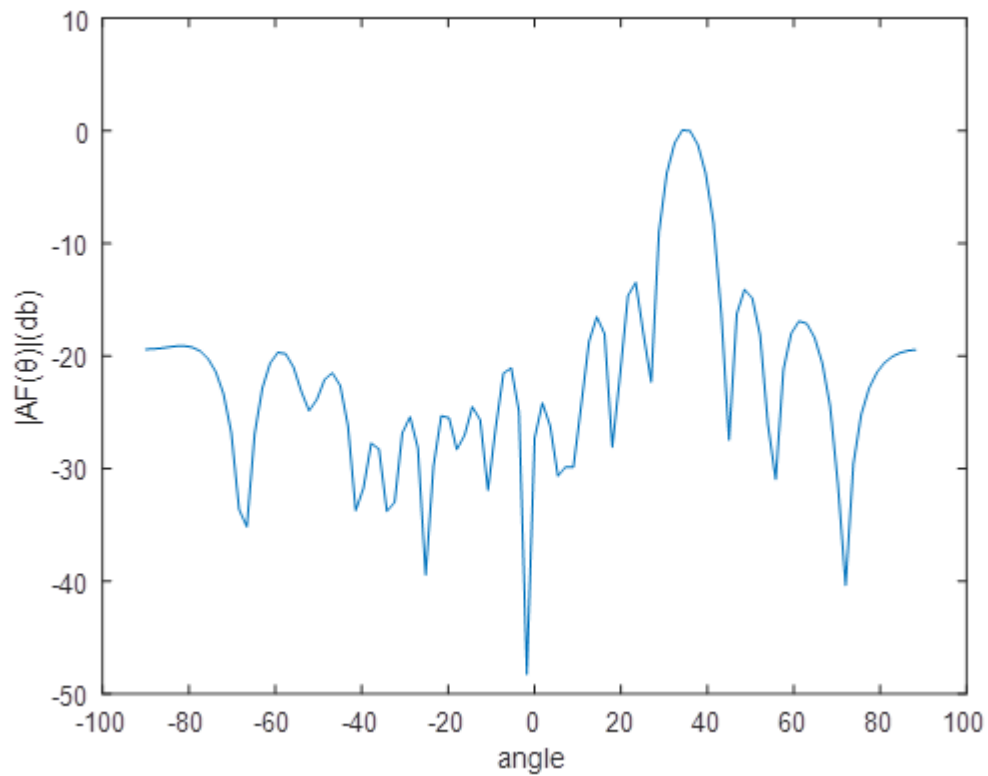


Fig.3.15 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme LMS pour 16 éléments réseau d'antennes $d = 0.5 \lambda$

Fig.3.15 montre le modèle de faisceau par l'algorithme LMS pour le nombre d'éléments de ULA $N = 16$ pour le angle d'entrée souhaité de 35 degré et pour interférence à 10 degré.

Le résultat de la simulation montre que si le nombre de la matrice augmente, les lobes principaux deviennent plus étroit augmentant la résolution et la précision de l'algorithme LMS. Le nul à 10 degré semble aussi être exacte et avec lobes latéraux plus petits.

3.5.2. RLS

La simulation de l'algorithme de formation de faisceaux par RLS est effectuée pour résoudre le problème de la convergence lente de l'algorithme LMS pour la grande propagation de la valeur propre est résolue dans l'algorithme RLS en utilisant Matrice de gain inversée au lieu de la taille de pas μ dans l'algorithme LMS. Les paramètres de simulations sont :

- Angle d'arrivée du signal requis : 35 degré.
- Angle d'arrivée du signal d'interférence : 10 degré.
- $N = 8$ = nombre d'éléments du réseau d'antennes
- $D = \lambda/2$ espacement des éléments intermédiaires
- $M = 200$ = échantillons

- $\text{Lambda} = 0.75$ = facteur d'oubli
- $\text{Meann} = 0$ signification du bruit
- $\text{varn} = 1$ variance du bruit

A) Effet de la variation de la distance inter-éléments, pour réseau d'antennes

1) Pour $d = 0.5 \lambda$

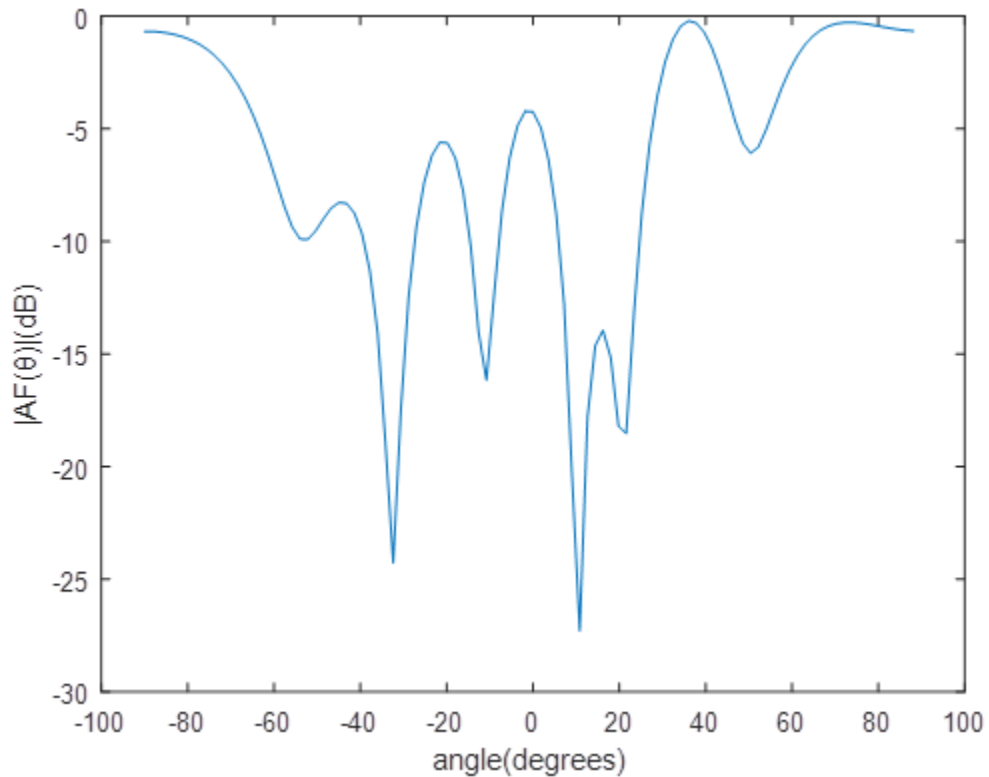


Fig.3.16 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme RLS pour 8 éléments réseau d'antennes $d = 0.5\lambda$.

La fig3.16 montre le modèle de faisceau pour l'algorithme RLS pour l'angle souhaité à 35 degré et une interférence à 10 degré. $d = \lambda / 2$, $N = 8$, Le graphique montre que l'algorithme RLS a placé nul profond à 10 ° et maximum à 35 degré.

$$\underline{d = 0,125\lambda}$$

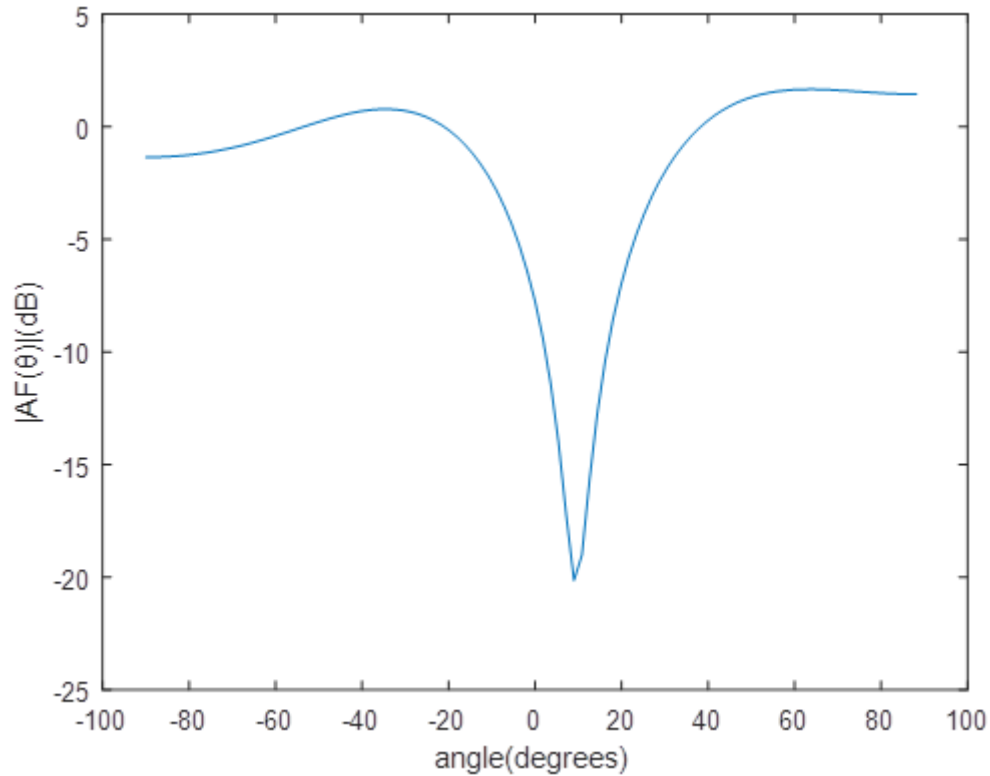


Fig.3.17 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme RLS pour 8 éléments réseau d'antennes $d = 0.125\lambda$.

La fig 3.17 montre le modèle de faisceau pour l'algorithme RLS pour variation de l'espacement entre les éléments, d entre le réseau éléments donnés par $d = \lambda / 8$ pour l'angle d'entrée souhaité de 35 degré et pour brouilleur à 10 degré.

Les résultats de la simulation montrent qu'entant qu'inter-élément espacement, la distance diminuer d'avantage de la fusion des lobes principaux et ne former pas des faisceaux séparés pour l'angle souhaité de 35 ° et cela conduit à une diminution de la précision de l'algorithme RLS.

B) Effet de la variation du nombre d'éléments

1) Pour $N=4$

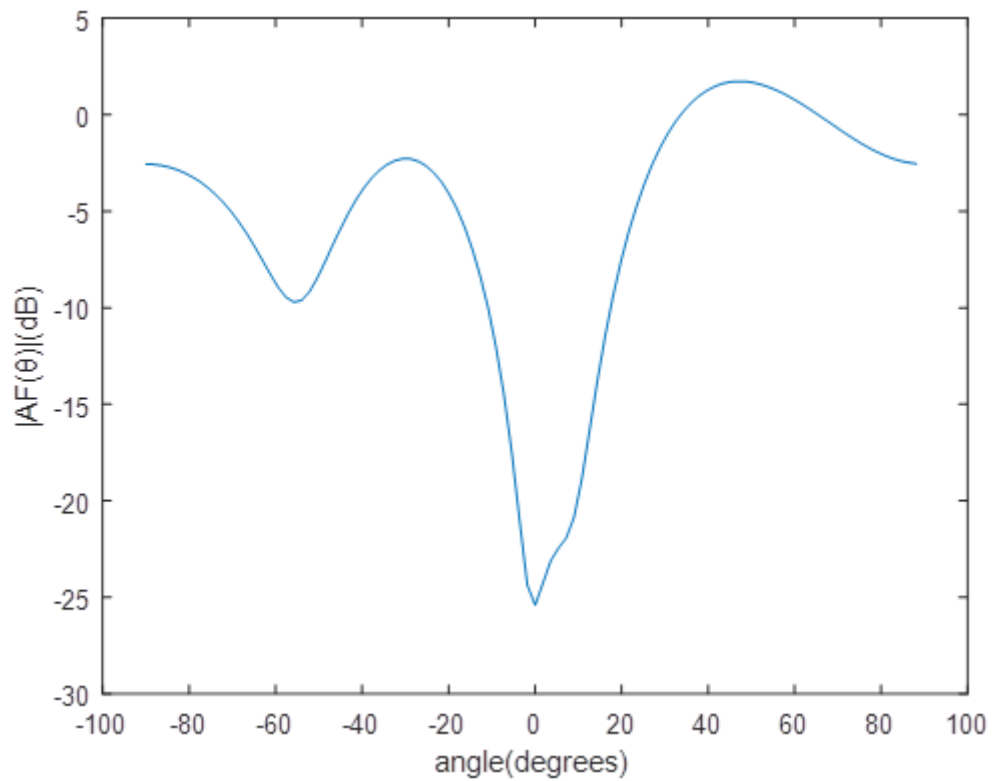


Fig.3.18 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme RLS pour 4 éléments réseau d'antennes

$$d = 0,5\lambda.$$

La fig 3.18 montre le modèle de faisceau pour l'algorithme RLS pour un nombre des éléments de la matrice $N = 4$ pour l'angle d'entrée souhaités de 35 degré et pour un signal d'interférence à 10 degré.

Le résultat du simulation montre que si le nombre de la matrice des éléments diminuent, le lobe principal et le lobe secondaire deviennent le plus grand réduisant de la précision de l'algorithme RLS. Bien que le nul à 10 degré semble être exacte.

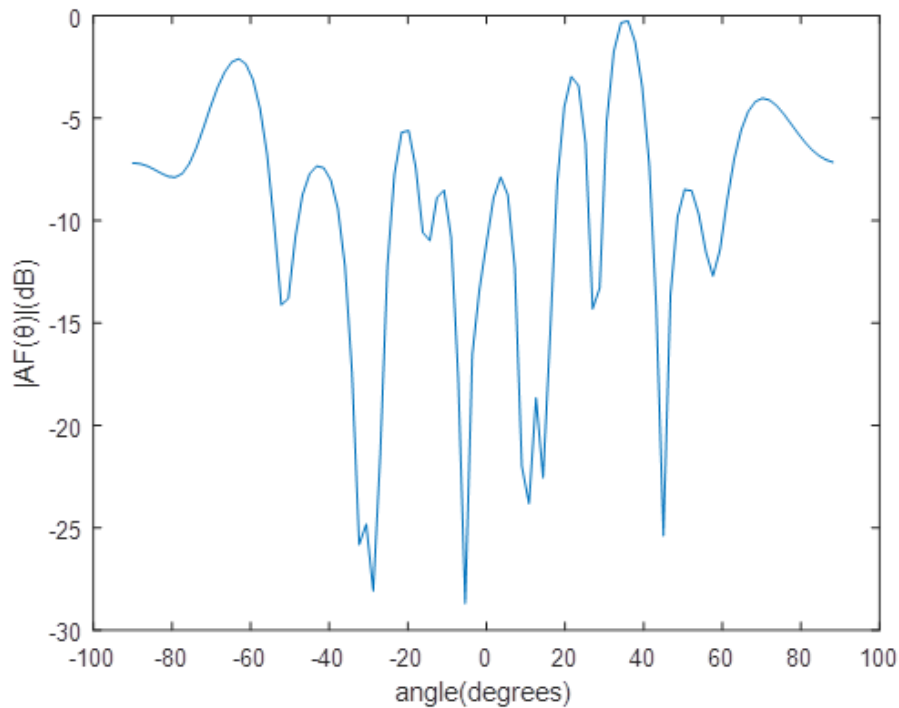
2) Pour $N=16$ 

Fig.3.19 Modèle de faisceau utilisant l'algorithme RLS pour 16 éléments réseau d'antennes

$$d = 0,5\lambda.$$

Fig.3.19 montre le modèle de faisceau pour l'algorithme RLS pour variation du nombre d'éléments du tableau donnée par $N = 16$ pour le angle d'entrée souhaité de 35 degré et pour brouilleur à 10 degré.

Le résultat de la simulation montre que le nombre de matrice augmente, les lobes principaux de viennent plus étroit augmentant la résolution et la précision du RLS algorithme. Le nul à 10 degré semble aussi être exact et avec lobes latéraux plus petits.

3.5.3. Les notes

- Il ressort clairement des résultats de la simulation que les algorithmes fonctionnent bien pour un espacement inter-éléments (d) de la moitié de la longueur d'onde. Aussi pour une performance satisfaisante de tous les algorithmes au moins huit nombre d'éléments de réseau d'antennes sont nécessaires.
- L'algorithme LMS est beaucoup plus simple que le RLS et son coût de calcul est beaucoup plus faible, cependant, prend plus de temps à s'adapter et est très sensible aux changements de puissance du signal d'entrée.
- L'algorithme RLS implique plus de calculs que le LMS, il offre un côté sécuritaire vers le lobe principal et a une meilleure réponse à la co interférence de canal.

3.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a donné une étude comparative des performances des deux techniques de formateur de faisceau adaptative aveugle MVDR et LCMV en termes d'interférence et types d'antennes (ULA et URA) dont l'objectif est de récupérer le signal d'origine envoyé par l'émetteur. La formation de faisceau MVDR est efficace tant que les signaux d'interférence arrivent à des angles éloignés de l'angle d'arrivée du signal utile. Lorsque la connaissance de la direction cible n'est pas précise, le formateur de faisceau LCMV est préférable car il empêche l'auto-annulation du signal.

Nous avons introduit la technique de formateur de faisceau adaptative non aveugle LMS et RLS, l'algorithme LMS a de bonnes performances mais avec un taux de convergence très lent tandis que le RLS améliore le taux de convergence du LMS. Dans la simulation, nous avons utilisé l'effet de la distance entre les éléments et l'effet du nombre d'éléments, plus il y a d'espacement entre les éléments, plus les lobes principaux sont larges, la valeur optimale de l'espacement entre les éléments est une demi-longueur d'onde car elle crée des faisceaux plus nets, lorsque le nombre d'éléments augmente, les lobes latéraux principaux se rétrécissent et les deux algorithmes sont capables de diriger le faisceau.

Conclusion générale

Conclusion générale

La technique de formation de faisceaux est utilisée dans antennes pour la transmission et la réception de signaux dans systèmes MIMO

Nous avons étudié le système MIMO, qui dépend de l'utilisation de plusieurs antennes dans l'émetteur et le récepteur pour transmettre plus de données simultanément et améliorer l'efficacité et mentionné ses types qui diffèrent dans les antennes SISO, MISO et SIMO, puis nous avons mentionné le principe de fonctionnement des antennes intelligentes. Sur diverses techniques telles que la diversité spatiale et la diversité spatio-temporelle.

Nous avons étudié les technologies de formation de faisceau dont on signale plusieurs types, dont dans notre travail on s'est concentré sur les formateurs de faisceaux adaptative et ses applications au system MIMO.

Nous avons également présenté précédemment les classifications de formation de faisceau, y compris la formation de faisceau adaptatif composée de classes aveugles et non aveugles. Au chapitre 3, les résultats de simulation pour la formation de faisceaux aveugles MVDR et LCMV en termes d'interférences et les types ULA et URA. Le formateur de faisceau MVDR supprime le signal ciblé, (c'est l'auto annulation) si les interférences arrivent à une déviation de ± 2 degrés de l'angle d'arrivée du signal cible, tandis que le formateur de faisceau LCMV détecte de signal avec succès.

Ainsi nous avons comparé la formation du faisceau de type aveugle par RLS et LMS, dans lesquels nous avons utilisé l'effet de la distance entre les éléments et l'effet du nombre d'éléments dont le RLS nous a donné de bons résultats.

***Références
bibliographiques***

Références bibliographiques

- [1] MIMO Formats - SISO, SIMO, MISO, MU-MIMO, <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/siso-simo-miso-mimo.php>
- [2] Rozé, A. (2016). Massive MIMO, une approche angulaire pour les futurs systèmes multi-utilisateurs aux longueurs d'onde millimétriques (Doctoral dissertation).
- [3] Elsayed Ahmad, A. (2010). Conception d'antennes réseaux aux performances optimisées par la prise en compte des couplages inter-éléments : application à la formation de faisceau et à la polarisation circulaire (Doctoral dissertation, Limoges).
- [4] Dr. A. Naceur, ANTENNES, Université Kasdi Merbah Ouargla, Année universitaire : 2017 – 2018
- [5] Bendahmane, A. M., & Ghermoul, R. Etude de méthodes de beamforming à maximisation du rapport signal sur bruit pour des systèmes FBMC (Doctoral dissertation). 10 Strategies MIMO (Multiple input Multiple output) dans les réseaux de capteurs sans fil
- [6] AOUNALLAH, N. (2015). Utilisation des antennes intelligentes dans les systèmes de communications sans fil (Doctoral dissertation).
- [7] MARWA, D., & ASMA, B. (2019). Etude et Analyse de Méthodes de Beamforming pour des Systèmes Multi-utilisateurs Pour la 5G.*
- [8] ELDJEMAI, A. (2019). Performance d'un système MIMO-OFDM.
- [9] Djiknavorian, P. (2007). MIMO pour les nuls. Laboratoire de Radio télécommunications et du Signal Université LAVAL, édition révisé Janvier.
- [10] RABHI, K. & SEKKAI, Ch. (2017). Strategies MIMO (Multiple input Multiple output) dans les réseaux de capteurs sans fil .
- [11] Islam, M. S., Jessy, T., Hassan, M. S., Mondal, K., & Rahman, T. (2016, April). Suitable beamforming technique for 5G wireless communications. In 2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA) (pp. 1554-1559). IEEE.
- [12] Rozé, A. (2016). Massive MIMO, une approche angulaire pour les futurs systèmes multi-utilisateurs aux longueurs d'onde millimétriques (Doctoral dissertation).
- [13] Schober, R. (2015). Linear massive MIMO precoders in the presence of phase noise-A large-scale analysis. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(5), 3057-3071
- [14] Appilla Chakravarthula, R., & Veluru, C. K. R. (2017). Intelligent Beam Weight Computation for Massive Beamforming
- [15] Ali, E., Ismail, M., Nordin, R., & Abdullah, N. F. (2017). Beamforming techniques for massive MIMO systems in 5G: overview, classification, and trends for future research. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(6), 753-772.

- [16] Li, J., & Stoica, P. (Eds.). (2006). Robust adaptive beamforming. Hoboken, New Jersey: John Wiley
- [17] Bjelić, M., & Stanojević, M. (2015). Comparison of LMS adaptive beamforming techniques in microphone arrays. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 12(1), 1-16.
- [18] Jaber, M. (2011). The Ultra High Speed LMS Algorithm Implemented on Parallel Architecture Suitable for Multidimensional Adaptive Filtering. *Adaptive Filtering*, 47.
- [19] Shetty, K. K. (2004). Novel Algorithm For Uplink Interference Suppression Using Smart Antennas In Mobile Communications.
- [20] Liu, W., & Weiss, S. (2010). Wideband beamforming: concepts and techniques (Vol. 17). John Wiley & Sons.
- [21] Ghatak, K., Senapati, A., & Roy, J. S. (2015). Investigations on adaptive beamforming for linear and planar smart antenna arrays using sample matrix inversion algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 117(8), 47-50.
- [22] Shubair, R. M., & Jessmi, W. (2005, July). Performance analysis of SMI adaptive beamforming arrays for smart antenna systems. In *2005 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium* (Vol. 1, pp. 311-314). IEEE.
- [23] Chang, P. S., & Willson, A. N. (2000). Analysis of conjugate gradient algorithms for adaptive filtering. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 48(2), 409-418.
- [24] Thakur, R., & Mourya, K. S. Performance Comparison of Blind and Non Blind Adaptive Beamforming Algorithms in Mobile Communication
- [25] CHAPTER 4 blind adaptive beamforming algorithms
<https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/225869/8/7%20chapter%204.pdf>.
- [26] Nwalozie, G., Okorogu, V., Maduadichie, S., & Adenola, A. (2013). A simple comparative evaluation of adaptive beam forming algorithms. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2(7).
- [27] de Lamare, R. C. (2013). Robust Low-Rank LCMV Beamforming Algorithms Based on Joint Iterative Optimization Strategies. *arXiv preprint arXiv:1302.2339*.
- [28] Kiong, T. S., Salem, S. B., Paw, J. K. S., Sankar, K. P., & Darzi, S. (2014). Minimum variance distortionless response beamformer with enhanced nulling level control via dynamic mutated artificial immune system. *The Scientific World Journal*, 2014.
- [29] <https://www.vocal.com/beamforming-2/minimum-variance-distortionless-response-mvdr-beamformer/>
- [31] Rahimian, A. (2014). Steerable Antennas for Automotive Communication Systems. *arXiv preprint arXiv:1404.1286*.

- [32] R.S. Yarrabothu, P.Telagathoti, Massive MIMO and Beamforming Techniques of 5G Networks, International Journal of Engineering and Advanced Technology, December, 2019
- [33] Yarrabothu, R. S. (2018). 5G: Radio. In Powering the Internet of Things With 5G Networks (pp. 40-69). IGI Global.
- [34] Shirvani-Moghaddam, S., & Akbari, F. (2011). A novel ULA-based geometry for improving AOA estimation. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2011(1), 39.
- [35] Shi, J., Hu, G., Zhang, X., Sun, F., & Xiao, Y. (2017). Computationally efficient 2D DOA estimation with uniform rectangular array in low-grazing angle. Sensors, 17(3), 470.