

## تقدير اتجاه وصول الإشارات المستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات المستوية باستخدام خوارزمية MUSIC

- معين يونس
- شحادة موسى
- محمد الصرن

(تاريخ الإيداع 13 / 12 / 2019 . قُبل للنشر 23 / 5 / 2019)

### ملخص

تُعَدُّ مسألة تقدير اتجاه الوصول (DOA) Direction of Arrival للإشارة جزءاً مهماً في معالجة إشارة المصفوفة، إذ تنشأ الحاجة إلى تقدير اتجاه الوصول DOA في العديد من التطبيقات الهندسية متضمنة الاتصالات اللاسلكية والرادار وعلم الفلك الراديوي والسونار... الخ، ومن الخوارزميات المستخدمة في تقدير DOA خوارزمية تصنيف الإشارة المتعددة (MUSIC) Multiple Signal Classification، إذ تعطي تقدير عدد الإشارات الواصلة إلى مصفوفة الهوائيات وبالنتيجة اتجاهات وصولهم، ولذلك فقد تمَّ تقييم أداء خوارزمية MUSIC من أجل تقدير زوايا السمات والارتفاع عند استخدام مصفوفة هوائيات مستوية ودراسة تأثير بارامترات تصميم المصفوفة المستوية على دقة هذا التقدير.

**كلمات مفتاحية:** خوارزمية تصنيف الإشارة المتعددة، مصفوفة الهوائيات المستوية، تقدير اتجاه الوصول DOA ، تقدير الطيف المكاني.

---

• أستاذ -قسم هندسة الاتصالات -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين -اللاذقية-سورية.  
•• أستاذ -قسم هندسة الاتصالات -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة البعث -حمص-سورية.  
••• طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا،  
email: mhalssarn@hotmail.com

## **Estimation of the Direction of Arrival of Signals Received By Planar Antenna Array using the MUSIC Algorithm**

**Dr.Eng. Mouin Younes •**  
**Dr.Eng. Chahada Moussa ••**  
**Eng. Mohammad Alssarn •••**

**(Received 13 / 12 / 2019 . Accepted 23 / 5 / 2019 )**

### **Abstract**

The problem of Direction of Arrival (DOA) estimation of the signal is important part in array signal processing. The need for DOA estimation arises in many engineering applications including wireless communications, radar, astronomy, sonar, etc. One of the algorithms used in DOA estimation is Multiple Signal Classification (MUSIC), which gives the estimation of number of arrived signals, hence their direction of arrivals. Therefore, the performance of MUSIC algorithm has been evaluated to estimate the azimuth and elevation angles when using the planar antennas array and studying the impact of design parameters on the accuracy of this estimate.

**Key words:** Multiple Signal Classification Algorithm (MUSIC), planar antennas array, Direction of Arrival (DOA), Spatial Spectrum Estimation.

---

• Professor, Department of communication, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

••Professor, Department of communication, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Al Baath University, Homs, Syria.

•••Postgraduate student(PhD), Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, E-mail: mhalssarn@hotmail.com

## مقدمة:

تستخدم أنظمة الاتصالات المتنقلة بشكل أساسي في المحطة الأساسية هوائي إرسال مفرد يستقبل الإشارة ويعيد إرسالها إلى الهدف المرغوب [1]، مما يجعل تقدير اتجاه الوصول (DOA) مقيماً بقيود عديدة، أبرزها العرض المحدود لوريقة الهوائي الرئيسية، وبالنتيجة يكون من الصعب التمييز بين الإشارات عندما تتوضع ضمن هذه الوريقة، لذا تم استخدام مصفوفات الهوائي التي تتضمن مقدر معالجة إشارة متطورة مما يحسن من دقة تقدير اتجاه الوصول بشكل ملحوظ [2]، إذ إنّه من المهم تقدير اتجاه التهديد الممكن واتجاه مكالمات الطوارئ الخليوية بحيث يتم إرسال فريق الإنقاذ إلى الموقع المناسب، لذلك فقد حظي التقدير الدقيق لاتجاه وصول الإشارة باهتمام كبير في التطبيقات العسكرية والتجارية كأنظمة الرادار والسونار [3].

يوجد طرق عديدة لتقدير اتجاه وصول الإشارة من أبرزها خوارزمية تصنيف الإشارة المتعددة Multiple Signal Classification Algorithm (MUSIC) التي تعتمد على تقدير الفضاء الجزئي [4]، إذ تعمل التقنية المعتمدة على الفضاء الجزئي على إيجاد الطيف المكاني لمصفوفة الهوائيات وحساب اتجاه وصول الإشارات عن طريق ذرى هذا الطيف [5]، ولقد اقتصرَت الدراسات السابقة على تطبيق خوارزمية MUSIC من أجل مصفوفة هوائيات خطية في دخل النظام، مما يجعل عملها محدوداً في تقدير زوايا السمات أو الارتفاع وفقاً لتوجيه مصفوفة الهوائيات، لذلك سنعمل في هذا البحث على تطبيق خوارزمية MUSIC من أجل تقدير اتجاه وصول الإشارات (زوايا السمات والارتفاع معاً) المستقبلية عن طريق مصفوفة هوائيات مستوية ودراسة تأثير تغيير بارامترات تصميمها على دقة هذا التقدير.

## هدف البحث:

يُعدّ تقدير اتجاه وصول الإشارات المستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات أحد المجالات البحثية المهمة والناشئة في معالجة إشارة المصفوفة، حيث تؤثر فعالية هذا التقدير على أداء نظام الهوائي الذكي، وقد استخدم من أجل زيادة دقة هذا التقدير مصفوفات الهوائي التي تعطي أداء أفضل من الهوائي المفرد [6]، إلا أنّ تقدير اتجاه وصول الإشارات المستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات الخطية يعطي إحدى زاويتي السمات أو الارتفاع؛ في حين أنّ تطبيقات عديدة كتطبيقات الحقل القريب تتطلب تقدير الزاويتين معاً، حيث تكون جبهة الموجة جزءاً من سطح كروي الأمر الذي يكون ممكناً باستخدام تشكيلات أخرى من مصفوفات الهوائي غير المصفوفة الخطية؛ لذلك يهدف هذا البحث إلى تقدير اتجاه وصول الإشارات المستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات المستوية المستخدمة في دخل نظام الهوائي الذكي (تقدير زاويتي السمات والارتفاع معاً)؛ وذلك باستخدام خوارزمية تصنيف الإشارة المتعددة MUSIC، ثمّ دراسة تأثير تغيير بارامترات تصميم مصفوفة الهوائيات المستوية (كتغيير عدد عناصر المصفوفة المتوضعة على المحورين، التباعد بين العناصر،...) على دقة خوارزمية MUSIC في تقدير اتجاه الوصول مما ينعكس على أداء النظام ككل.

## طرائق البحث ومواده:

جرى في هذا البحث مناقشة تقدير اتجاه وصول الإشارات (زاويتي السمات والارتفاع معاً)؛ وذلك باستخدام خوارزمية MUSIC، ومن أجل تقدير الزاويتين السابقتين معاً فقد استخدمت مصفوفة الهوائيات المستوية التي تسمح بتغطية مستويين في آن واحد (مستويي السمات والارتفاع)، على خلاف مصفوفة الهوائيات الخطية التي تسمح بتغطية

مستوى واحد فقط وفق المحور الذي تتوضع عليه المصفوفة، وقد أجريت المحاكاة من أجل ذلك باستخدام برنامج الماتلاب.

### المبدأ الأساسي في تقدير اتجاه الوصول:

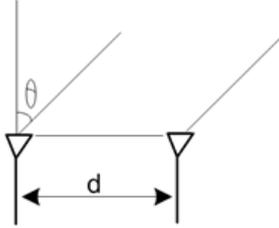
يهدف تقدير اتجاه الوصول إلى تقدير اتجاه الإشارات المستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات المستخدمة في دخل النظام من أجل معالجة هذه الإشارات، ثم تشكيل الإشعاع باتجاه الإشارات المرغوبة وإلغاء الإشارات غير المرغوبة [7]، حيث يحدد اتجاه الوصول DOA بالزاوية بين الناظم على محور المصفوفة وشعاع اتجاه الموجة الراديوية، مما يعطي اختلافاً في الطور لنسخ الإشارة المتعددة الواصلة إلى عناصر المصفوفة نتيجة اختلاف المسار الذي تسلكه نسخ الإشارة هذه، ويتقدير اختلاف الطور يتم تقدير اتجاه وصول هذه الإشارات كما هو مبين في الشكل (1) [8]، حيث يُعطى التأخير الزمني بالعلاقة:

$$\tau = \frac{d \sin \theta}{c} \quad (1)$$

d: المسافة الفاصلة بين كل عنصرين متتالين في المصفوفة.

c: سرعة انتشار الضوء.

$\theta$ : زاوية الوصول.



الشكل (1): مبدأ تقدير اتجاه الوصول DOA [9]

لذلك يكون فرق الطور بين هذه النسخ والنتائج عن فرق المسار كما في العلاقة الآتية:

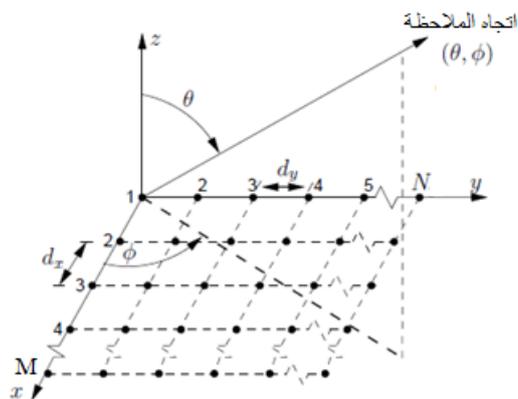
$$\varphi = e^{-j\omega\tau} = e^{-j2\pi f(d \sin \theta / \lambda f_0)} \quad (2)$$

حيث  $f_0$  التردد المركزي لحزمة الإشارة، و  $\lambda$  طول موجة الإشارة.

وبالنتيجة من معرفة التأخير الزمني يمكن تقدير اتجاه وصول الإشارة.

### مصفوفة الهوائيات المستوية المتماثلة:

يمكن دراسة مصفوفة الهوائيات المستوية على أنها M مصفوفة هوائيات خطية متوضعة موازية للمحور y وكل مصفوفة منها مكونة من N عنصر، أو أنها N مصفوفة هوائيات خطية متوضعة موازية للمحور x وكل مصفوفة منها مكونة من M عنصر، حيث يوضح الشكل (2) مصفوفة الهوائيات هذه وكيفية توضع العناصر على شبكة مستطيلة، كذلك يوضح الشكل زاويتي السم والارتفاع [10].



الشكل(2): مصفوفة الهوائيات المستوية. [11]

تتفوق هذه المصفوفة على مصفوفة الهوائيات الخطية؛ إذ تعطي نماذج إشعاع أكثر ملاءمة، وذات مستوى وريقات جانبية أخفض، كما أن الريقة الرئيسة لنموذج إشعاع المصفوفة يمكن أن تغطي مجالاً أوسع من الفضاء، ومن أجل إيجاد معامل مصفوفة الهوائيات المستوية الكلي فإنه يستخدم مبدأ جداء معاملات المصفوفة وبالنتيجة يعطى معامل المصفوفة الكلي وفق العلاقة الآتية [12]:

$$AF(\theta, \phi) = AF_x \cdot AF_y = \left[ \frac{\sin(\frac{M}{2}\psi_x)}{M \cdot \sin(\frac{\psi_x}{2})} \right] \cdot \left[ \frac{\sin(\frac{N}{2}\psi_y)}{N \cdot \sin(\frac{\psi_y}{2})} \right] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \psi_x &= K d_x \sin\theta \cos\phi \\ \psi_y &= K d_y \sin\theta \sin\phi \end{aligned}$$

حيث:

M: عدد عناصر المصفوفة المتوضعة على المحور x.

N: عدد عناصر المصفوفة المتوضعة على المحور y.

θ: زاوية ارتفاع الإشارة المستقبلية من قبل عناصر المصفوفة.

φ: زاوية سمت الإشارة المستقبلية من قبل عناصر المصفوفة.

dx: التباعد بين كل عنصرين متتاليين متوضعين على المحور x.

dy: التباعد بين كل عنصرين متتاليين متوضعين على المحور y.

$$K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

λ: طول موجة الإشارة.

### 3-3- نموذج البيانات وتحليل مصفوفة التباين المشترك:

مع الأخذ بالاعتبار أن الإشارة المستقبلية ذات زاوية سمت φ وزاوية ارتفاع θ، في هذه الحالة تجمع D إشارة عن طريق المصفوفة المستوية M×N مع اتجاهات وصول (θ, φ)، وبالنتيجة يمكن كتابة الإشارة المستقبلية بالعلاقة الآتية [13]:

$$x = [a(\theta_1, \phi_1) \quad a(\theta_2, \phi_2) \quad \dots \quad a(\theta_D, \phi_D)] \begin{bmatrix} S_1(t) \\ S_2(t) \\ \vdots \\ S_D(t) \end{bmatrix} + n(t)$$

$$x = A \cdot S(t) + n(t) \quad (4)$$

حيث A: شعاع توجيه المصفوفة المطابق لاتجاه الوصول.

S(t): شعاع الإشارة المتشكّلة.

n(t): شعاع الضجيج المضاف.

تعتمد خوارزميات عديدة على مصفوفة التباين المشترك (covariance matrix) في معالجة إشارة المصفوفة مثل خوارزميات تقدير DOA وخوارزميات تشكيل الشعاع المتكثّف، حيث إن كيفية الحصول على مصفوفة التباين المشترك هو الخطوة الأساسية في المحاكاة [14]، فمن أجل الإشارة الكلية المستقبلية من قِبل المصفوفة والمعطاة في المعادلة (4)، تعطى مصفوفة التباين المشترك لها بالعلاقة [15]:

$$R_x = E[x \cdot x^H] \quad (5)$$

حيث [ ] E: التوقع الرياضي.

H: التحويل الهرميتي (منقول المرافق العقدي).

بفرض أنّ الإشارة والضجيج غير مترابطين، وأنّ الضجيج هو ضجيج غوسي أبيض، نعوض بقيمة x(t) من

المعادلة (4)[16]

$$\begin{aligned} R_x &= E[(AS + n) \cdot (AS + n)^H] \\ R_x &= AE[SS^H]A^H + E[nn^H] \\ R_x &= AR_{SS}A^H + R_{nn} \\ R_x &= AR_{SS}A^H + \sigma_n^2 I \end{aligned} \quad (6)$$

حيث أنّ  $R_{SS}$ : مصفوفة ارتباط الإشارة (المصدر).

$R_{nn}$ : مصفوفة ارتباط الضجيج.

$\sigma_n^2$ : تباين الضجيج.

I: المصفوفة الواحدية.

**خوارزمية تصنيف الإشارة المتعددة MUSIC:**

تعتمد خوارزمية MUSIC على استثمار البنية الذاتية لمصفوفة تباين الدخل من أجل تحليل هذه المصفوفة إلى فضاء جزئي للإشارة وفضاء جزئي للضجيج، إذ يتم الحصول على الأشعة الذاتية بسهولة عن طريق التحليل الذاتي لمصفوفة التباين هذه [17]، فبفرض أنّ عدد الإشارات المفيدة هو D واما أنّ عدد عناصر المصفوفة هو M، لذا يكون عدد القيم الذاتية والأشعة الذاتية المطابقة لها والتي ترتبط بالإشارة هو D، بينما عدد القيم الذاتية والأشعة الذاتية المطابقة لها والتي ترتبط بالضجيج هو M-D (حيث M>D)، بالعودة إلى مصفوفة التباين المشترك والممثلة في العلاقة (6)، تكون القيم الذاتية  $\lambda_i$  للمصفوفة  $R_x$  معطاة بالعلاقة الآتية [18]:

$$|R_x - \lambda_i I| = 0 \quad (7)$$

نعوض من العلاقة (6)

$$\begin{aligned} |AR_{SS}A^H + \sigma_n^2 I - \lambda_i I| &= 0 \\ |AR_{SS}A^H - (\lambda_i - \sigma_n^2) I| &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

وبالنتيجة تكون القيم الذاتية  $v_i$  المرتبطة بالإشارة والتي تتمثل بالحد  $AR_{SS}A^H$  هي

$$v_i = \lambda_i - \sigma_n^2 \quad (9)$$

من أجل الأشعة الذاتية  $q_i$  المطابقة لـ M-D قيمة ذاتية يكون لدينا

$$|R_x - \lambda_i I| q_i = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} (R_{uu} - \sigma_n^2 I) q_i &= AR_{SS}A^H q_i + \sigma_n^2 I q_i - \sigma_n^2 I q_i = \\ AR_{SS}A^H q_i &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

بما أنّ A مصفوفة ذات رتبة كاملة و  $R_{SS}$  ليست مفردة (محددها لا يساوي الصفر)، هذا يعني أنّ

$$A^H q_i = 0$$

$$\begin{bmatrix} a^H(\theta_0)q_i \\ a^H(\theta_1)q_i \\ \vdots \\ a^H(\theta_{D-1})q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

أي تكون الأشعة الذاتية المطابقة لـ M-DJ قيمة ذاتية (مرتبطة بالضجيج) معامدة لـ D شعاع توجيه (مرتبط بالإشارة)، وهذه هي الملاحظة الأساسية لخوارزمية MUSIC، وبالنتيجة يمكن تقدير اتجاه الوصول DOA عن طريق البحث خلال كل أشعة توجيه المصفوفة الممكنة لإيجاد الأشعة التي تكون متعامدة مع الفضاء الجزئي للضجيج، وتُعطى اتجاهات الوصول هذه عن طريق تحديد مواضع الذرى في الطيف المكاني لخوارزمية MUSIC والممثل بالعلاقة الآتية :

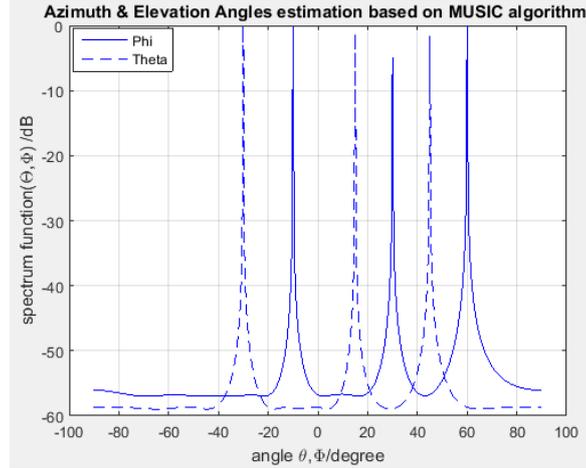
$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{1}{a^H(\theta)V_n V_n^H a(\theta)} \quad (13)$$

عندما تكون  $a(\theta)$  متعامدة مع  $V_n$  يكون المقام معدوماً، ولكن بسبب وجود الضجيج يكون للمقام قيمة أصغرية لذلك سترتفع الذرى في طيف MUSIC المعطى بالعلاقة (13)، إذ تكون الذرى D الأكبر مطابقة لاتجاه الإشارات الواصلة إلى مصفوفة الهوائيات، مع الأخذ بالاعتبار مصفوفة الهوائيات المستوية؛ وباستخدام طريقة التقدير السابقة ذاتها يكون الطيف المكاني لخوارزمية MUSIC ممثلاً بالعلاقة الآتية [13]:

$$P_{MUSIC}(\theta, \varphi) = \frac{1}{a^H(\theta, \varphi)V_n V_n^H a(\theta, \varphi)} \quad (14)$$

### النتائج والمناقشة:

لقد تمّ تقدير زوايا السمات وزوايا الارتفاع معاً من أجل العديد من التطبيقات؛ وخاصة التطبيقات اللاسلكية عندما يتوضع المستخدم في مجال الحقل القريب، ومن أجل الإشارات المستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات المستوية ذات معامل المصفوفة المُعطى بالعلاقة (3)، وذلك باستخدام خوارزمية MUSIC، وقد تمّت نمذجة علاقة الطيف المكاني لخوارزمية MUSIC المُعطاة بالعلاقة (14)، وأجريت المحاكاة باستخدام برنامج الماتلاب على اعتبار أنّ معامل المصفوفة المستوية هو جداء معاملي مصفوفة، حيث إن تغيّر بارامترات أحد المعاملين (كعدد العناصر والتباعد فيما بينها) لا يؤثر على المعامل الآخر، بينما يكون لتغيّر عدد العينات و SNR التأثير نفسه على الإشارات المستقبلية من قِبَل جميع العناصر، ومن أجل ماسبق فقد افترضنا وجود ثلاث إشارات ذات زوايا السمات الآتية  $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, -10^\circ$ ، وثلاث إشارات زوايا الارتفاع  $\theta = -30^\circ, 15^\circ, 45^\circ$  على الترتيب، والتي تبقى ثابتة خلال المحاكاة، وقد افترضنا نسبة الإشارة إلى الضجيج مساوية لـ SNR=20، وعدد عناصر المصفوفة المستوية على المحورين x-y متساوياً M=N=16، فقد حصلنا على النتائج الموضحة في الشكل (3)



الشكل(3): تقدير زوايا السمات والارتفاع باستخدام خوارزمية MUSIC

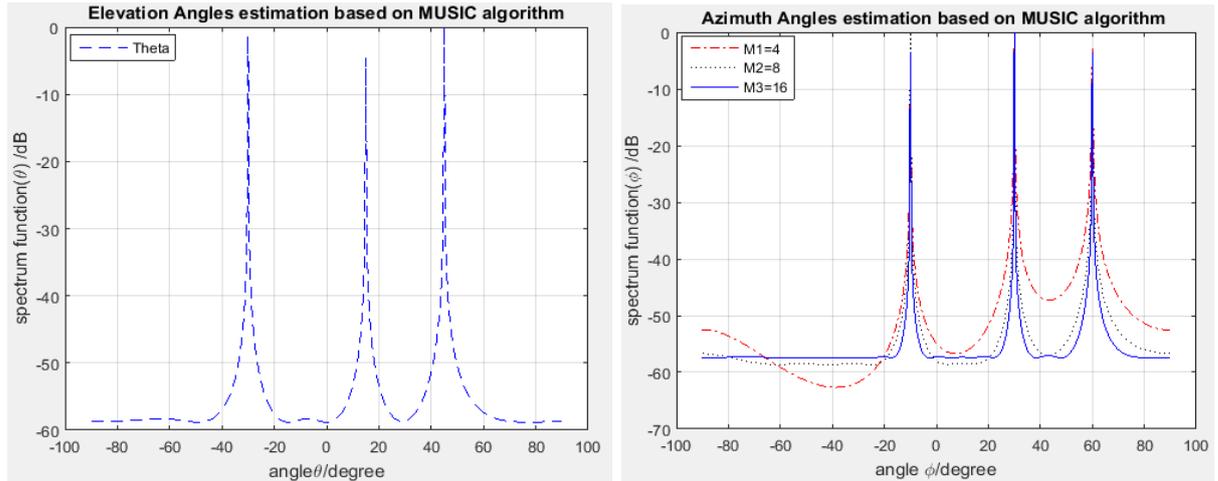
نجد من الشكل(3) أنه بإمكان خوارزمية MUSIC تقدير زوايا الإشارات المستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات المستوية في كل من مستوي السمات والارتفاع، وسندرس فيمايلي تأثير بارامترات تصميم مصفوفة الهوائيات المستوية على دقة تقدير الاتجاه باستخدام خوارزمية MUSIC.

#### دراسة تأثير عدد العناصر في المصفوفة المستوية على دقة خوارزمية MUSIC:

تمّ هنا دراسة حالتين لعدد العناصر (على المحور X وعلى المحور y)، وأنّ التباعد بين العناصر على المحورين متساوٍ، ومساوٍ لنصف طول الموجة ( $dx=dy=\lambda/2$ )، كما أنّ عدد العينات هو  $F=200$  ونسبة الإشارة إلى الضجيج هي  $SNR=20$ ، لقد كانت النتائج كمايلي:

#### تأثير عدد العناصر المتوضعة على المحور X:

افترض من أجل هذه الحالة ثلاث حالات لعدد العناصر المتوضعة على المحور X وهي  $M_1=4, M_2=8, M_3=16$ ، وبقي عدد العناصر على المحور y ثابتاً  $N=16$ ، وقد حصلنا على النتائج الآتية:



(b): زاوية الارتفاع

(a): زاوية السمات

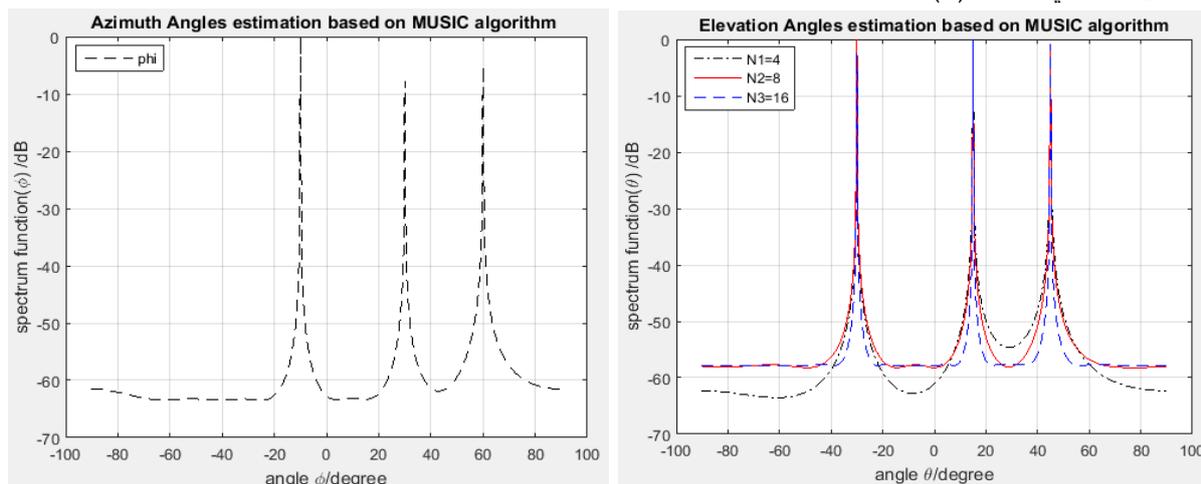
#### الشكل(4): تأثير عدد العناصر المتوضعة على المحور X على دقة خوارزمية MUSIC

نجد من الشكل (4) أنه مع زيادة عدد العناصر المتوضعة على المحور X تتحسن دقة ومقدرة خوارزمية MUSIC على تقدير زوايا السمات، إذ يصبح عرض الشعاع أضيق وتتحسّن اتجاهية المصفوفة في مستوي السمات،

في حين لا تؤثر زيادة عدد العناصر المتوضعة على المحور  $x$  على دقة تقدير زوايا الارتفاع باستخدام خوارزمية MUSIC.

#### تأثير عدد العناصر المتوضعة على المحور $y$ :

افترض من أجل دراسة هذه الحالة ثلاث حالات لعدد العناصر المتوضعة على المحور  $y$  وهي  $N_1=4, N_2=8, N_3=16$ ، وبقي عدد العناصر المتوضعة على المحور  $x$  ثابتاً  $M=16$ ، وقد حصلنا على النتائج الموضحة في الشكل (5):



(b): زاوية الارتفاع.

(a): زاوية السمات

الشكل (5): تأثير عدد العناصر المتوضعة على المحور  $y$  على دقة خوارزمية MUSIC.

نلاحظ من الشكل (5) أنه مع زيادة عدد العناصر المتوضعة على المحور  $y$  لا تتأثر دقة تقدير زوايا السمات، بينما تزداد دقة تقدير زوايا الارتفاع المقدرّة عن طريق خوارزمية MUSIC حيث يصبح عرض الشعاع أضيق وتحسّن اتجاهية المصفوفة في مستوي الارتفاع.

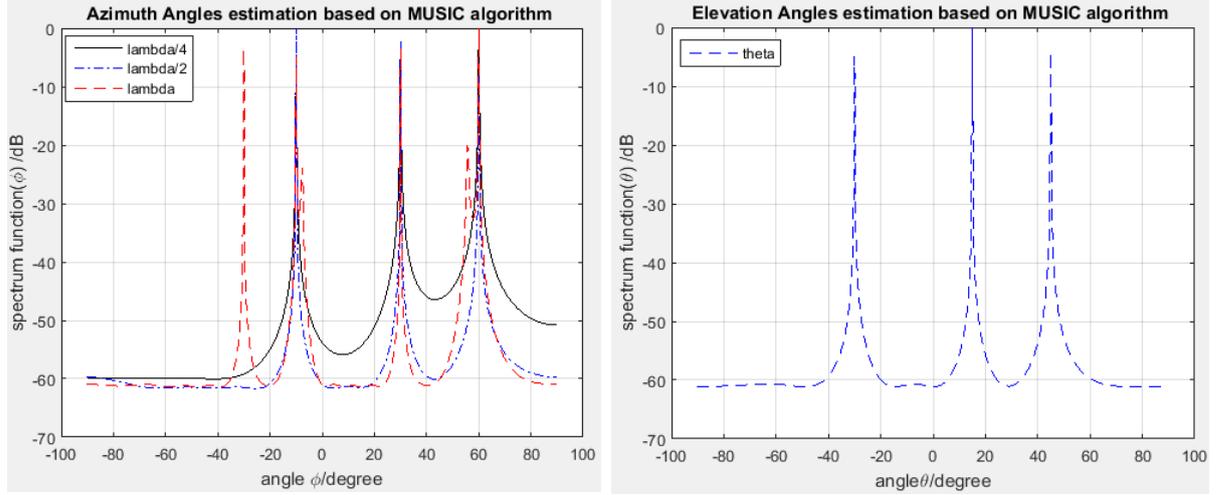
يمكن مما سبق أن نستنتج أنه من أجل الحصول على دقة جيدة في تقدير زوايا السمات والارتفاع معاً للإشارات المستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات المستوية باستخدام خوارزمية MUSIC يجب زيادة عدد العناصر في المصفوفة المستوية على المحورين  $x, y$ ، ولزيادة دقة التقدير بنسب متساوية؛ يجب زيادة عدد العناصر بحيث تبقى مصفوفة الهوائيات المستوية مربعة، مع ملاحظة أنه يجب اختيار عدد عناصر مناسب؛ بحيث لا تنخفض سرعة المعالجة انخفاضاً كبيراً الأمر الذي يؤثر على سرعة ملاحقة الإشارة.

#### دراسة تأثير التباعد بين عناصر مصفوفة الهوائيات المستوية على دقة خوارزمية MUSIC:

تمّ في هذه الحالة تحليل تأثير التباعد بين العناصر المشكّلة لمصفوفة الهوائيات المستوية؛ وذلك على دقة تقدير خوارزمية MUSIC عند تقدير زوايا السمات والارتفاع، لذلك تمّ افتراض أن عدد العناصر في المصفوفة على المحورين  $x, y$  متساوي  $M=N=16$ ، وأن عدد العينات  $F=200$ ، ونسبة الإشارة على الضجيج هي  $SNR=20$ ، حيث تمت دراسة الحالتين الآتيتين:

#### تأثير التباعد بين العناصر المتوضعة على المحور $x$ :

افترضنا من أجل دراسة هذه الحالة ثلاث حالات للتباعد بين العناصر المتوضعة على المحور  $x$  وهي  $dx_1=\lambda/4, dx_2=\lambda/2, dx_3=\lambda$ ، بينما بقي التباعد بين العناصر المتوضعة على المحور  $y$  ثابتاً ومساوياً لنصف طول الموجة  $dy=\lambda/2$ ، وبالنتيجة فقد حصلنا من أجل الفرضيات السابقة على النتائج المبينة في الشكل (6)



(b): زاوية الارتفاع

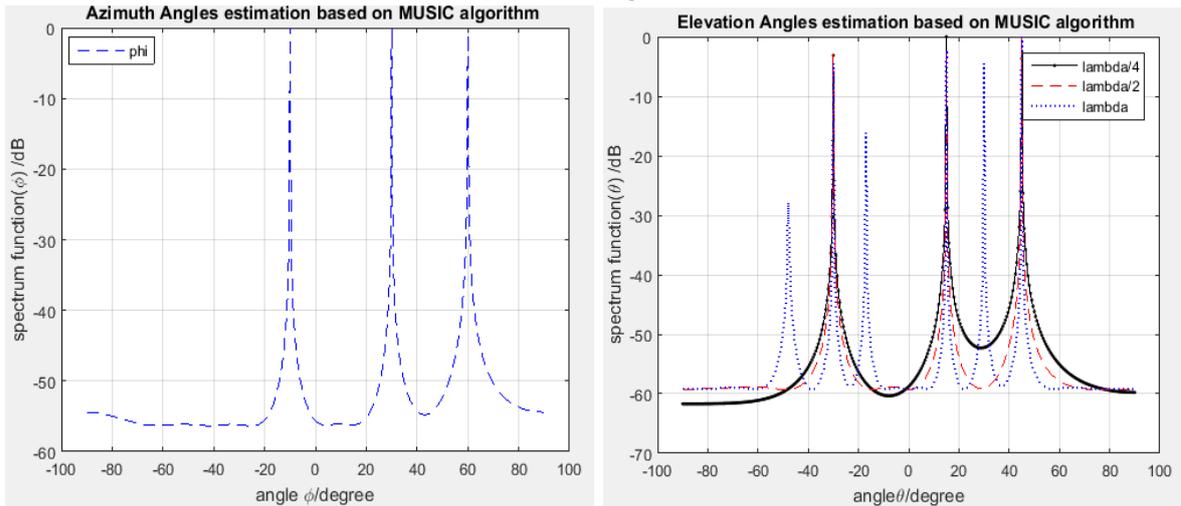
(a): زاوية السم

الشكل (6): تأثير التباعد بين العناصر المتوضعة على المحور x على دقة خوارزمية MUSIC

يتضح من الشكل (6) أنه لا تتأثر دقة تقدير زوايا ارتفاع الإشارة أيًا كان التباعد بين عناصر المصفوفة المتوضعة على المحور x، أمًا بالنسبة إلى دقة تقدير زوايا السم فقد ازدادت دقة التقدير عندما كان التباعد بين العناصر مساويًا لنصف طول الموجة أو أصغر منه، بينما انخفضت دقة الخوارزمية عندما أصبح التباعد أكبر من نصف طول الموجة، حيث ظهرت ذرى زائفة في طيف MUSIC مما ينعكس سلباً على دقة التقدير.

تأثير التباعد بين العناصر المتوضعة على المحور y:

لقد درُست هذه الحالة ضمن الفرضيات السابقة نفسها؛ من حيث عدد العناصر في المصفوفة، وعدد العينات ونسبة الإشارة إلى الضجيج، ومع الأخذ بالاعتبار بقاء التباعد بين العناصر المتوضعة على المحور x ثابتاً ومساوياً لنصف طول الموجة  $dx = \lambda/2$ ، بينما تم افتراض أن التباعد بين العناصر المتوضعة على المحور y هو  $dy_1 = \lambda/4, dy_2 = \lambda/2, dy_3 = \lambda$ ، حيث حصلنا على النتائج الموضحة في الشكل (7).



(b): زاوية الارتفاع.

(a): زاوية السم

الشكل (7): تأثير التباعد بين العناصر المتوضعة على المحور y على دقة خوارزمية MUSIC

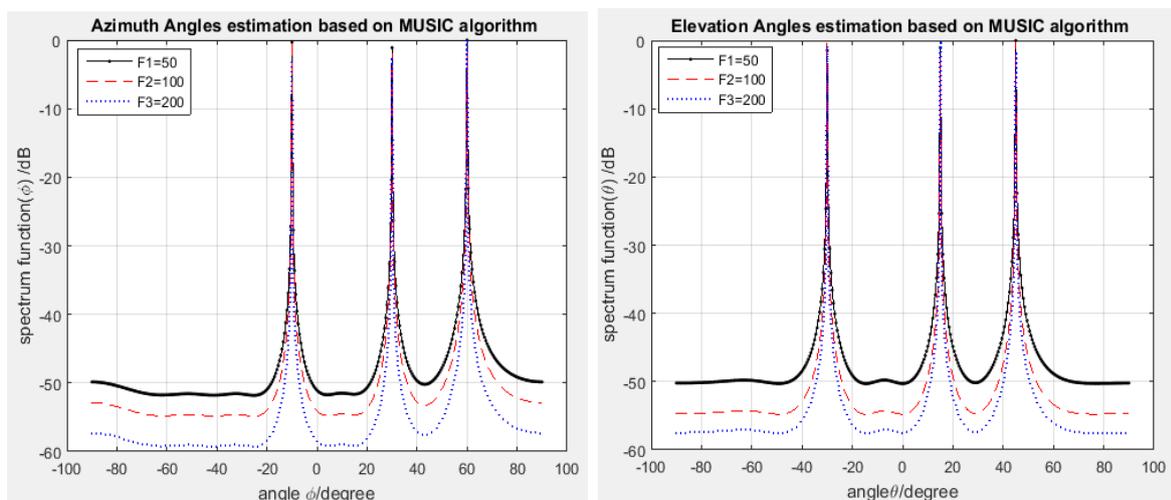
بيّن الشكل (7) أن دقة تقدير زوايا السم باستخدام خوارزمية MUSIC لا تتأثر أيًا كان التباعد بين عناصر المصفوفة المتوضعة على المحور y، بينما ازدادت دقة تقدير زوايا الارتفاع عندما كان هذا التباعد مساوياً لنصف

طول الموجة او أصغر منه، وقد انخفضت هذه الدقة عندما أصبح هذا التباعد أكبر من نصف طول الموجة نتيجة ظهور ذرى زائفة في طيف الخوارزمية.

نستنتج مما سبق أنّ التباعد المثالي بين عناصر المصفوفة المستوية والمتوضعة على المحورين  $X, Y$  هو نصف طول الموجة وهو أكبر تباعد بين العناصر لا يؤدي إلى ظهور ذرى زائفة في طيف الخوارزمية.

### 3-4- دراسة تأثير عدد عينات الإشارة على دقة خوارزمية MUSIC:

دُرِس هنا تأثير عدد عينات الإشارة المستقبلة من قبل مصفوفة الهوائيات المستوية على دقة خوارزمية MUSIC عند استخدامها في تقدير زوايا السمات والارتفاع، إذ تمّ اختيار عدد عناصر المصفوفة على المحورين  $X, Y$  متساوياً  $M=N=16$ ، كما تمّ اختيار التباعد بين العناصر على المحورين  $X, Y$  متساوياً ومساوياً لنصف طول الموجة  $dx=dy=\lambda/2$ ، وقد حصلنا على النتائج الموضّحة في الشكل (8) من أجل عدد عينات مساوٍ لـ  $F_1=50, F_2=100, F_3=200$ ، حيث يُظهر الشكل أنّه مع زيادة عدد عينات الإشارة المستقبلة من قبل المصفوفة تزداد دقة خوارزمية MUSIC في تقدير كل من زوايا السمات والارتفاع معاً؛ حيث يصبح عرض الشعاع أضيق وبالنتيجة تتحسن اتجاهية المصفوفة في كل من مستويي السمات والارتفاع، إلّا أنّه يجب ملاحظة أنّ العدد الكبير من العينات يزيد زمن المعالجة؛ لأنّ كمية أكبر من البيانات يجب أن تعالج، لذا يجب اختيار عدد مقبول من العينات مما يضمن دقة التقدير ويحافظ على سرعة معالجة مقبولة.



(b): زاوية

(a): زاوية السمات

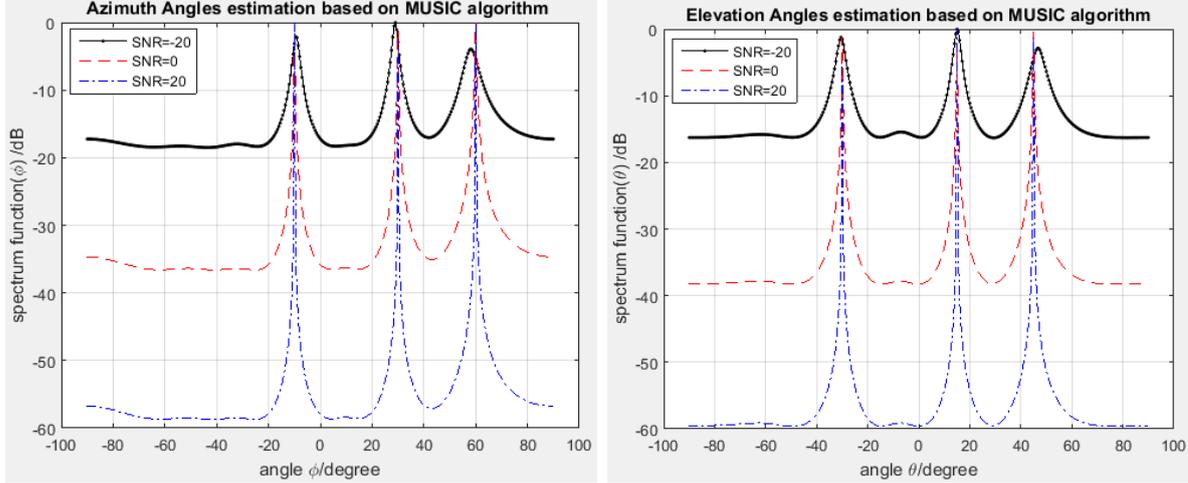
الارتفاع.

### الشكل (8): تأثير عدد عينات الإشارة على دقة خوارزمية MUSIC

#### 4-4- دراسة تأثير نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR على دقة خوارزمية MUSIC:

درسنا في هذه الحالة تأثير نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR على دقة خوارزمية MUSIC عند تقدير زوايا السمات والارتفاع، حيث أخذ بالاعتبار أنّ قيم SNR هي  $SNR_1=-20, SNR_2=0, SNR_3=20$ ، ومن أجل عدد عناصر  $M=N=16$  عنصر وعدد عينات  $F=200$ ، وتباعد بين العناصر هو  $dx=dy=\lambda/2$ ، فقد حصلنا على النتائج الموضّحة في الشكل (9)، حيث يبيّن الشكل أنّه عند قيم SNR منخفضة ينخفض أداء خوارزمية MUSIC إذ تظهر ذرى الطيف أقل حدة، إلّا أنّه عند قيم SNR العالية تزداد دقة الخوارزمية حيث تظهر ذرى طيف حادة، ويعود ذلك إلى

أنه عند قيم SNR المنخفضة يكون الاختلاف بين القيم الذاتية التي تخص فضاء الإشارة والقيم الذاتية التي تخص فضاء الضجيج صغيراً فتظهر ذرى طيف أقل حدة، بينما عندما تزداد قيمة SNR يصبح الاختلاف أكبر وتكون الذرى حادة، لذا فإن قيمة SNR تؤثر تأثيراً كبيراً على دقة الخوارزمية في كل من مستويي السمات والارتفاع، لذلك تُعد نسبة الإشارة إلى الضجيج من البارامترات المهمة التي يجب أخذها بالاعتبار.



(b): زاوية الارتفاع

(a): زاوية السمات

الشكل(9): تأثير نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR على دقة خوارزمية MUSIC

### الاستنتاجات والتوصيات:

تمّ في هذا العمل تقدير زوايا السمات والارتفاع لإشارات متوضعة في مستويي السمات والارتفاع والمستقبلية عن طريق مصفوفة الهوائيات المستوية، حيث استخدمت خوارزمية MUSIC من أجل تقدير هذه الزوايا، كما تمّت دراسة بارامترات تصميم مصفوفة الهوائيات المستوية (كعدد العناصر والتباعد بين هذه العناصر...) على دقة تقدير خوارزمية MUSIC.

لقد بيّنت النتائج أنّ زيادة عدد عناصر المصفوفة المستوية المتوضعة على المحور X يزيد دقة التقدير في مستوي السمات ولا تتأثر دقة التقدير في مستوي الارتفاع، بينما تؤثر زيادة عدد العناصر المتوضعة على المحور Y تأثيراً معاكساً، لذا فإنه للحصول على دقة جيدة في تقدير زوايا الوصول في كل من مستويي السمات والارتفاع لا بدّ من زيادة عدد العناصر المتوضعة على المحورين X, Y بشكل مناسب.

كذلك أوضحت النتائج أنّ زيادة التباعد بين العناصر، مع بقائه أصغر أو يساوي نصف طول الموجة، يزيد دقة تقدير خوارزمية MUSIC، إلا أنّ زيادة التباعد أكثر من نصف طول الموجة ينقص تلك الدقة، لذا يكون التباعد الأفضل هو نصف طول الموجة، وهو أكبر تباعد لا تظهر عنده ذرى زائفة في طيف الخوارزمية، كذلك فإنّ زيادة عدد عينات الإشارة ونسبة الإشارة إلى الضجيج SNR يزيد دقة تقدير الخوارزمية في كل من مستويي السمات والارتفاع معاً، إلا أنّه يجب اختيار هذه البارامترات بدقة من أجل ضمان سرعة معالجة الخوارزمية.

يمكن دراسة ترتيبات أخرى للمصفوفة (كالمصفوفة الدائرية أو مصفوفة الدوائر المتمركزة) ودراسة إمكانية تطبيق خوارزمية MUSIC مع تلك المصفوفات من أجل تقدير زوايا السمات والارتفاع وبارامترات التصميم التي تؤثر على دقة الخوارزمية.

## المراجع

- [1] WADHWANI, M.;SONI, A. 2015,A Review of Smart Antenna System (SAS) with Array Processing Algorithms. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*,India,Vol.5,No.1,77-80.
- [2] HWANG, H. K.; ALIYAZICIOGLU, Z.; GRICE, M.; YAKOVLEV, A. 2008,Direction of Arrival Estimation using a Root-MUSIC Algorithm. *Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists* ,Hong Kong,Vol.2,1507-1510.
- [3] EL-KAMCHOUCI, H. M.; EL-TORGOMAN, A. S. 2016,Towards a Precise Direction of Arrival Estimation for Coherent Sources Using EC-MUSIC. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*,U.S.A.Vol.4,No.2,40-43.
- [4] LEI, L.; MING, D. 2015,Direction of arrival estimation for fewer snapshots signal in the impulsive noise environment.*Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*,U.S.A. Vol.7,No.3,632-635.
- [5] SALUNKE, D. B.; KAWITKAR, R. S. 2013,Analysis of LMS, NLMS and MUSIC Algorithms for Adaptive Array Antenna System. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*,Vol.2,No.3,130-133.
- [6] GUPTA, P.; KAR, S. P. 2015, MUSIC and Improved MUSIC algorithm to Estimate Direction of Arrival. *IEEE ICCSP 2015 conference*,757-761.
- [7] KUMBAR, K. A. 2015,Adaptive Beamforming Smart Antenna for Wireless Communication System, *International Research Journal of Engineering and Technology*,India,Vol.2,No.3, 2038-2043.
- [8] R B.; HEBBAR, H.G.; M S.; M S. 2016,Evaluation of MUSIC algorithm for DOA estimation in Smart antenna. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*,Vol.3,No.5,185-188.
- [9] YOUNES, M.; MOUSSA,CH.;ALSSARN,M.2017, Study of Impact of Parameters of Uniform Linear Antennas Array Design on the Irrelevant Signal's Direction of Arrival Estimated using MUSIC Algorithm. *Tishreen University Journal for Research and Scietific for studies Engineering*, Vol39,No.2,113125.
- [10] RAO, A. P.; SARMA, N.V.S.N. 2014, Adaptive Beamforming Algorithms for Smart Antenna Systems. *WSEAS Transactions On Communications*, Vol.13,44-50.
- [11] NACEUR, A.; MERAHI, B. 2013, Two-Dimensional Angle of Arrival Estimation with a High Resolution Algorithm. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS AND PROCESSING INFORMATION*, May 12-14, Guelma, Algeria.
- [12] PERARASI, T.; ANUVIDHYA, G. 2016, Investigation of Different Types of Microstrip Array Structures for Smart Cellular Base Station Antennas. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*,Vol.10,No.1,201-206
- [13] ALAM, M. M.;RAJIB, M. M. I.;BISWAS S. K. 2010,Design and Performance Analysis of Smart Antenna System for DECT Radio Base Station in Wireless Local Loop. *Journal of Communications*,Vol.5,No.8,593-603.

- [14] WU, X.; GUO, T. 2010, *Direction of Arrival Parametric Estimation and Simulation Based on MATLAB*. *Journal of Computational Information Systems*, China, 4723-4731.
- [15] KARBHARI, G. V.; DESHPANDE, A.S. 2015, *Analysis of GSU-MUSIC DOA Estimation Algorithm for Smart Antenna*. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, India, Vol.3, No.2, 701-707.
- [16] GUPTA, P.; KAR, S. P. 2015, *Direction of Arrival Estimation using MUSIC Algorithm*. *Journal of Basic and Applied Engineering Research*, India, Vol.2, No.2, 117-121.
- [17] ZEYANG, D.; YUMING, D. 2009, *DOA Estimation Based on Improved MUSIC Algorithm*. *Proceedings of Conference on Communication Faculty*, 481-485.
- [18] BALABADRAPATRUNI, S. S. *Performance Evaluation of Direction of Arrival Estimation Using MATLAB*. *Dept. of Electronics & Communication Engineering, JNT University, Hyderabad, India*.