

## دراسة تأثير بارامترات تصميم مصفوفة الهوائيات الخطية المتماثلة على اتجاه وصول الإشارات غير المترابطة المقدر باستخدام خوارزمية MUSIC

د. معين يونس\*  
د. شحادة موسى\*\*  
محمد الصرن\*\*\*

(تاريخ الإيداع 18 / 1 / 2017. قُبِلَ للنشر في 19 / 3 / 2017)

### □ ملخص □

تعتبر معالجة إشارة المصفوفة جزءاً هاماً في مجال معالجة الإشارة، وقد طُورت في السنوات الأخيرة بشكل كبير، إذ يمكن أن تطبق في مجالات مثل الكشف الراديوي، الاتصالات، السونار، الزلازل، علم الفلك، والطب البيولوجي. إنَّ بحث تقنية اتجاه الوصول (Direction of Arrival (DOA) مهماً في معالجة إشارة المصفوفة خاصةً اتجاه الوصول لمصادر الإشارة المتعددة، وتقدير اتجاه مصادر الإشارات المترابطة. لقد حققت الخوارزميات المستخدمة في تقدير DOA خلال السنوات الماضية إنجازاً كبيراً، حيث تعتبر خوارزمية تصنيف الإشارة المتعددة Signal Multiple Classification (MUSIC) من أقدم الخوارزميات والأكثر شيوعاً، وقد طُوِّرت لتعطي إيجاد الاتجاه فائق الدقة عن طريق تقدير عدد الإشارات الواصلة وبالنتيجة اتجاهات وصولهم.

**الكلمات المفتاحية:** تقدير اتجاه الوصول DOA، خوارزمية MUSIC، تقدير الطيف المكاني، المصفوفة الخطية المتماثلة.

---

\*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 دكتوراه، قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية .

## Study of Impact of Parameters of Uniform Linear Antennas Array Design on the Irrelevant Signal's Direction of Arrival Estimated using MUSIC Algorithm

Dr. Mouin Younes<sup>\*</sup>  
Dr. Chahada Moussa<sup>\*\*</sup>  
Mohammad Alssarn<sup>\*\*\*</sup>

(Received 18 / 1 / 2017. Accepted 19 / 3 / 2017)

### □ ABSTRACT □

Array signal processing is an important part in the field of signal processing, in recent years, it has been developed dramatically, it can be applied in such fields as radio detection, communication, sonar, earthquake, astronomy and biomedicine.

Direction of Arrival (DOA) technology research is important in array signal processing, especially the direction of arrival with multiple signal sources and the estimation of direction of relevant signal sources. Over the past years, all algorithms used in DOA estimation have made great achievements, Multiple Signal Classification (MUSIC) is considered one of the most common and oldest ones, which was developed to give super resolution direction finding, by estimating of number of arrived signals, hence their direction of arrival.

**Key words:** Direction of Arrival (DOA), MUSIC Algorithm, Spatial Spectrum Estimation, Uniform Linear Array.

---

<sup>\*</sup>Professor, Department of communication, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*</sup>Professor, Department of communication, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Al Baath University, Homs, Syria.

<sup>\*\*\*</sup>PHD student, Departement of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة:

حظي التقدير الدقيق لاتجاه وصول الإشارة اللاسلكية باهتمام كبير في التطبيقات العسكرية والتجارية كأنظمة الرادار والسونار، إذ من المهم تحديد اتجاه التهديد المحتمل وتحديد اتجاه مكالمات الطوارئ الخليوية بحيث يتم إرسال فريق الإنقاذ إلى الموقع المناسب [1]، يكون تقدير اتجاه الوصول DOA باستخدام هوائي مفرد مقيداً بقيود عديدة تتمثل في الدقة المحدودة بعرض حزمة الوريقة الرئيسة للهوائي والتي تكون متناسبة عكساً مع الحجم الفيزيائي للهوائي، عند وصول إشارات متعددة من محطات إرسال مختلفة (إشارات تداخل) مع الإشارة الرئيسية إلى هوائي الاستقبال يكون من الصعب التمييز بينها، لذا يتم استخدام نظام الهوائي المصفوف مع مقدرات معالجة متطورة بدلاً من الهوائي المفرد بحيث تتحسن دقة تحديد اتجاه وصول الإشارة بشكل ملحوظ [2].

يتم تقدير اتجاه الوصول باستخدام الطرق التقليدية كطريقة التأخير والجمع Sum-and-Delay أو باستخدام التقنيات المعتمدة على الفضاء الجزئي كخوارزمية تصنيف الإشارة المتعددة MUSIC [3]، إذ تستوجب هذه التقنيات إيجاد الطيف المكاني لمصفوفة الهوائيات وحساب DOA من ذرى هذا الطيف ويكون لبارامترات تصميم مصفوفة الهوائيات تأثيراً كبيراً في هذا التقدير من أجل أنظمة الزمن الحقيقي ووجود مصادر متعددة [4,5].

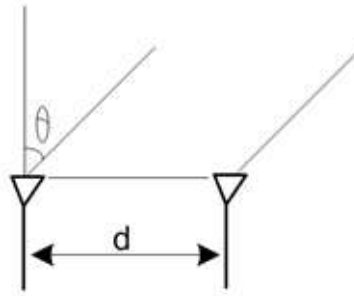
## أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير بعض بارامترات تصميم المصفوفة الخطية المتمثلة بعدد العناصر ( $M$ ) في المصفوفة والتباعد ( $d$ ) بين هذه العناصر بالإضافة إلى عدد عينات الإشارة الملتقطة ( $N$ ) من قبل مصفوفة الهوائي، إذ ستتم دراسة الحالات المختلفة لـ  $d$  و  $M$  و  $N$  ومقارنتها مع بعضها، وبالنتيجة تحديد تأثيرها على اتجاه الوصول DOA المقدر عن طريق خوارزمية MUSIC.

## طرائق البحث وموارده:

### 1-المبدأ الأساسي في تقدير اتجاه الوصول

طورت العديد من الخوارزميات من أجل تقدير اتجاه الوصول DOA [6]، إذ أن الهدف الأساسي من هذا التقدير هو الحصول على المعلومات من عنصر المصفوفة وتحديد زاوية اتجاه المستخدم أو الإشارة المرغوبة ويعطى ذلك الخرج إلى معالج الإشارة الرقمي من أجل تشكيل الشعاع باتجاه ذلك المستخدم [7]، فعند الأخذ بالاعتبار مجال الحقل البعيد تكون جبهة الموجة الراديوية مستوية لذلك فإن الزاوية بين العمود على محور المصفوفة (الناظم) وشعاع اتجاه الموجة الراديوية هو اتجاه الوصول DOA، وبالنتيجة عند وصول الإشارة نفسها إلى عناصر المصفوفة المختلفة ينتج اختلاف يدعى باختلاف الطور بين الإشارات الواصلة نتيجة اختلاف مسير الموجة، يتم تحديد اتجاه الوصول بتقدير اختلاف الطور، وهذا هو المبدأ الأساسي في تقدير DOA كما هو موضح في الشكل (1).



الشكل (1): مبدأ تقدير اتجاه الوصول DOA

يمكن أن تتأثر نتائج تقدير DOA بعدة عوامل قد تكون متعلقة بمصدر الإشارة القادمة أو بيئة التطبيق الفعلية ومن هذه العوامل:

1- عدد عناصر المصفوفة: إذ تزداد دقة التقدير مع زيادة عدد العناصر في المصفوفة مع بقاء البارامترات الأخرى نفسها.

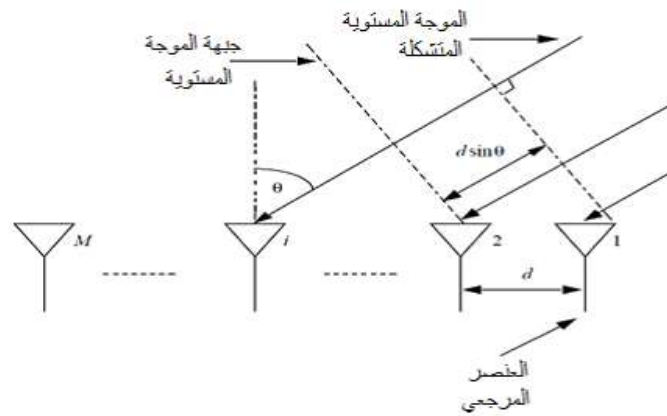
2- عدد عينات الإشارة الملتقطة.

3- نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) Signal to Noise Ratio: تتخفف دقة خوارزمية تحديد اتجاه الوصول مع انخفاض SNR.

بالإضافة لهذه العوامل الأتفة الذكر يتأثر أداء DOA في التطبيقات العملية باختلاف طور ومطال الإشارة الملتقطة من قبل عناصر المصفوفة.

## 2- مصفوفة الهوائيات الخطية المتماثلة:

ليكن لدينا مصفوفة خطية متماثلة مكونة من  $M$  عنصر كما هو مبين في الشكل (2)، من الشكل تكون عناصر المصفوفة متباعدة بشكل متساوي بمسافة مقدارها  $d$ ، وتصل الموجة المستوية إلى المصفوفة من الاتجاه  $\theta$ ، تسمى الزاوية باتجاه الوصول DOA للإشارة المستقبلية [8]، وعلى اعتبار أن الإشارة المستقبلية هي جيبيية عقدية، لذا تعطى الإشارة المستقبلية عن طريق عنصر الهوائي المرجعي بالعلاقة:



الشكل (2): حدوث موجة مستوية على مصفوفة الهوائيات الخطية المتماثلة من الاتجاه

من الشكل (2) تكون الإشارة المستقبلية من قِبل عنصر الهوائي الثاني في المصفوفة هي نسخة مؤخرة عن الإشارة المستقبلية من قِبل عنصر الهوائي الأول، وأنَّ هذا التأخير الزمني الناتج عن اختلاف المسار يكون مطابقاً لاختلاف الطور [9]، بفرض أنَّ التأخير الحاصل هو ، لذا تكون الإشارة المستقبلية من قِبل عنصر الهوائي الثاني معطاة بالعلاقة:

$$S_2(t) = S_1(t - \tau) \\ = e^{j2\pi f_0 t} \cdot e^{-j2\pi f_0 \tau} \quad (2)$$

يعطى التأخير الزمني بالعلاقة:

$$\tau = \frac{d \sin \theta}{c} \\ = \frac{d \sin \theta}{f_0 \lambda_0} \quad (3)$$

نعوض المعادلة (3) في المعادلة (2) نحصل على:

$$S_2(t) = e^{j2\pi f_0 t} \cdot e^{-j2\pi f_0 \frac{d \sin \theta}{f_0 \lambda_0}} \\ = e^{j2\pi f_0 t} \cdot e^{-j2\pi \frac{d \sin \theta}{\lambda_0}}$$

بفرض أنَّ

$$\phi = 2\pi \frac{d \sin \theta}{\lambda_0}$$

يصبح لدينا

$$S_2(t) = e^{j2\pi f_0 t} \cdot e^{-j\phi} \\ S_2(t) = S_1(t) e^{-j\phi} \quad (4)$$

أي تكون الإشارات الكلية المستقبلية عن طريق عناصر هوائي المصفوف هي

$$X_1(t) = S(t) + n_1(t)$$

$$X_2(t) = S(t - \tau) + n_2(t)$$

وهكذا تكون الإشارة الكلية المستقبلية من قِبل مصفوفة الهوائيات هي

$$x(t) = \sum_{i=1}^M a(\phi_i) s_i(t) + n(t) \\ x(t) = AS(t) + n(t) \quad (5)$$

حيث  $a(\theta_i)$ : شعاع توجيه المصفوفة المطابق لاتجاه الوصول  $i$ .

$s_i(t)$ : شعاع الإشارة المتشكلة.

$n(t)$ : شعاع الضجيج.

### 3- التحليل الذاتي لمصفوفة التباين المشترك:

تعتمد خوارزميات عديدة على مصفوفة التباين المشترك في معالجة إشارة المصفوفة مثل خوارزميات تقدير DOA وخوارزميات تشكيل الشعاع المتكثف، حيث أن كفاءة الحصول على مصفوفة التباين المشترك هو الخطوة الأساسية في المحاكاة [10]، فمن أجل الإشارة الكلية المستقبلية من قبل المصفوفة والمعطاة في المعادلة (5)، تعطى مصفوفة التباين المشترك لها بالعلاقة:

$$R_x = E[x \cdot x^H] \quad (6)$$

حيث  $E[\ ]$ : التوقع الرياضي.

$H$ : التحويل الهرميتي (منقول المرافق).

يفرض أن الإشارة والضجيج غير مترابطين، وأن الضجيج هو ضجيج غوسي أبيض، نعوض بقيمة  $x(t)$  من

المعادلة (5)

$$R_x = E[(AS + n) \cdot (AS + n)^H]$$

$$R_x = AE[SS^H]A^H + E[nn^H]$$

$$R_x = AR_{ss}A^H + R_{nn}$$

$$R_x = AR_{ss}A^H + \sigma_n^2 I$$

(7)

حيث أن

$R_{ss}$ : مصفوفة ارتباط الإشارة (المصدر).

$R_{nn}$ : مصفوفة ارتباط الضجيج.

$\sigma_n^2$ : تباين الضجيج.

$I$ : مصفوفة التعريف.

### 4- 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 [11]، إذ يتم الحصول على الأشعة الذاتية بسهولة عن طريق التحليل الذاتي لمصفوفة التباين هذه، يمكن الحصول بسهولة عن طريق خوارزمية MUSIC على الاستطاعات والارتباطات المتبادلة بين إشارات الدخل المختلفة واتجاهات وصول الإشارات المتعددة المتشكلة والتي تكون مقدره عن طريق تحديد مواقع الذرى في الطيف المكاني لخوارزمية MUSIC [12,13].

يفرض أن عدد الإشارات المفيدة هو  $D$  وأن 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  $D < M$ )، بالعودة إلى مصفوفة التباين المشترك والممثلة في العلاقة (7)، تكون القيم

الذاتية  $\lambda_i$  للمصفوفة  $R_x$  معطاة بالعلاقة التالية:

$$|R_x - \lambda_i I| = 0 \quad (8)$$

نعوض من العلاقة (7)

$$\begin{aligned} |AR_{ss}A^H + \sigma_n^2I - \lambda_i I| &= 0 \\ |AR_{ss}A^H - (\lambda_i - \sigma_n^2)I| &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

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

$$v_i = \lambda_i - \sigma_n^2 \quad (10)$$

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

$$|R_x - \lambda_i I| q_i = 0 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} (R_{uu} - \sigma_n^2 I) q_i &= AR_{ss}A^H q_i + \sigma_n^2 I q_i - \sigma_n^2 I q_i = 0 \\ AR_{ss}A^H q_i &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

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

$$\begin{aligned} A^H q_i &= 0 \\ \begin{bmatrix} a^H(\theta_0) q_i \\ a^H(\theta_1) q_i \\ \vdots \\ a^H(\theta_{D-1}) q_i \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (13)$$

أي تكون الأشعة الذاتية المطابقة لـ M-D قيمة ذاتية (مرتبطة بالضجيج) معامدة لـ D شعاع توجيه (مرتبط بالإشارة)، وهذه هي الملاحظة الأساسية لخوارزمية MUSIC، أي يمكن تقدير أشعة التوجيه المتعلقة بالإشارة المستقبلية عن طريق إيجاد أشعة التوجيه التي تكون أكثر تعامداً مع الأشعة الذاتية المرتبطة بالضجيج، يُظهر هذا التحليل انتماء الأشعة الذاتية لمصفوفة التباين المشترك  $R_x$  إلى أحد فضاءين جزئيين متعامدين هما الفضاء الجزئي الذاتي الأساسي (الفضاء الجزئي للإشارة) والفضاء الجزئي الذاتي غير الأساسي (الفضاء الجزئي للضجيج)، إذ تتوضع أشعة التوجيه المطابقة لاتجاه الوصول في الفضاء الجزئي للإشارة ولهذا السبب تكون معامدة للفضاء الجزئي للضجيج، يمكن تحديد اتجاه الوصول DOA عن طريق البحث خلال كل أشعة توجيه المصفوفة الممكنة لإيجاد الأشعة التي تكون متعامدة مع الفضاء الجزئي غير الأساسي، وتُعطى اتجاهات الوصول هذه عن طريق تحديد مواضع الذرى في الطيف المكاني لخوارزمية MUSIC والممثل بالعلاقة التالية:

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

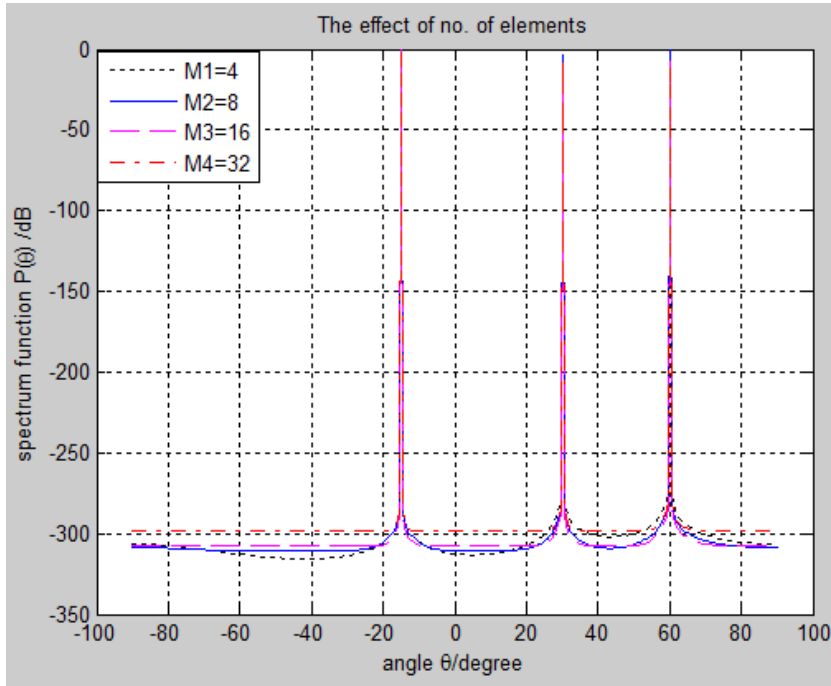
عندما تكون متعامدة مع يكون المقام معدوماً، ولكن بسبب وجود الضجيج يكون للمقام قيمة أصغرية لذلك سترتفع الذرى في طيف MUSIC المعطى بالعلاقة (14)، إذ تكون الذرى D الأكبر مطابقة لاتجاه الإشارات الواصلة إلى مصفوفة الهوائيات.

### النتائج والمناقشة:

سيُدرس في المحاكاة تأثير بارامترات تصميم المصفوفة الخطية المتماثلة على اتجاه وصول الإشارات DOA المقدر باستخدام خوارزمية MUSIC، وذلك من أجل حالتي وجود ضجيج غوسي أبيض وعدم وجوده، إذ افترضنا وجود ثلاث إشارات واصلت من الاتجاهات  $15^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ، ومن أجل نسبة إشارة إلى الضجيج  $SNR=20dB$ ، وقد كانت النتائج التي حصلنا عليها كالآتي:

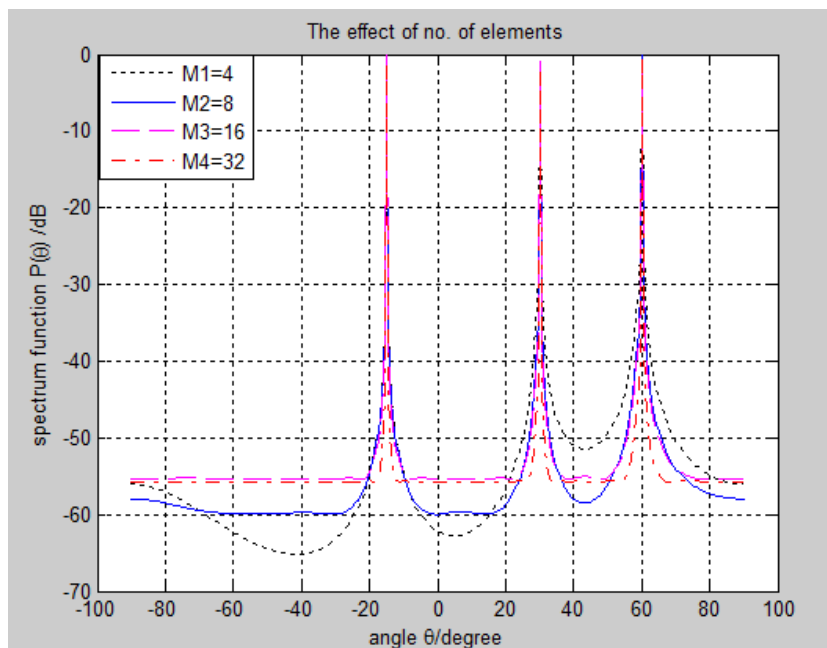
#### 1- دراسة تأثير عدد العناصر $M$ في المصفوفة الخطية المتماثلة على اتجاه الوصول:

افترض من أجل دراسة هذه الحالة أن عدد العناصر هو  $M=4, 8, 16, 32$ ، وأن التباعد بين هذه العناصر هو نصف طول الموجة، ومن أجل الإشارات الثلاث السابقة و  $SNR$  نفسها، كانت النتائج الموضحة في الشكل (3)



أ- حالة عدم وجود ضجيج غوسي أبيض





ب-حالة وجود ضجيج غوسي أبيض  
الشكل(3): تأثير عدد العناصر في المصفوفة الخطية المتماثلة على اتجاه الوصول

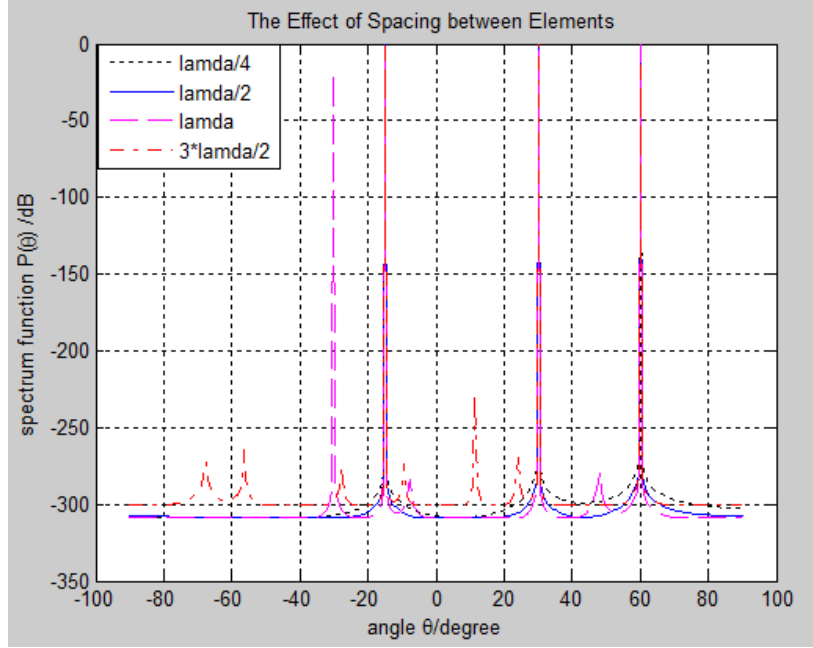
نجد من الشكل (3) أنه مع زيادة عدد عناصر المصفوفة يصبح عرض شعاع طيف تقدير DOA ضيقاً وتحسن اتجاهية المصفوفة أي تتحسن مقدرة الخوارزمية على تمييز الإشارات بسبب الحصول على تقديرات DOA أكثر دقة عند زيادة عدد العناصر في المصفوفة، ولكن مع العدد الكبير من العناصر تزداد كمية المعلومات التي يجب معالجتها وبالنتيجة تنخفض سرعة المعالجة كما هو موضح في الجدول (1) لذلك عملياً يجب اختيار عدد عناصر مناسب في المصفوفة بحيث لا تتأثر دقة تقدير DOA بشكل كبير مع الحفاظ على سرعة معالجة عالية.

الجدول(1): الزمن اللازم للمعالجة وفق عدد عناصر المصفوفة

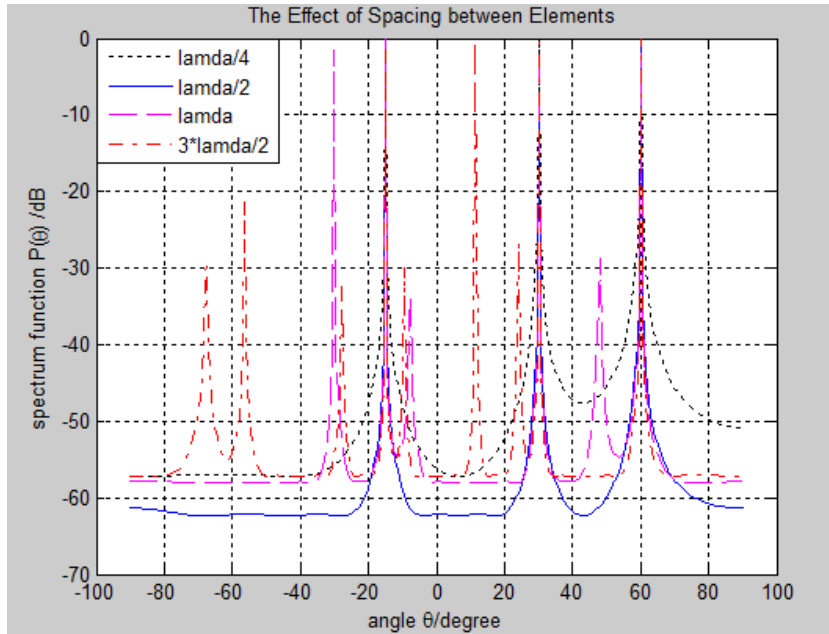
عدد عناصر الهوائيات	4	8	16	32
زمن المعالجة (ثانية)	5.68	5.76	5.78	6.01

## 2- دراسة تأثير التباعد بين عناصر المصفوفة على اتجاه الوصول:

لقد تم في هذه الحالة دراسة تأثير التباعد بين العناصر في المصفوفة الخطية المتماثلة على اتجاه الوصول المقدر باستخدام خوارزمية MUSIC، إذ استخدمنا من أجل هذه المحاكاة مصفوفة هوائيات خطية متماثلة مكونة من 10 عناصر ومع أربع حالات مختلفة للتباعد  $d$  وهي  $d = \lambda/4, \lambda/2, \lambda, 3\lambda/2$ ، ومن أجل الإشارات الثلاث السابقة و SNR نفسها وفي حال وجود ضجيج غوسي أبيض وعدم وجوده، وقد تم الحصول على النتائج الموضحة في الشكل(4)



أ- حالة عدم وجود ضجيج غوسي أبيض



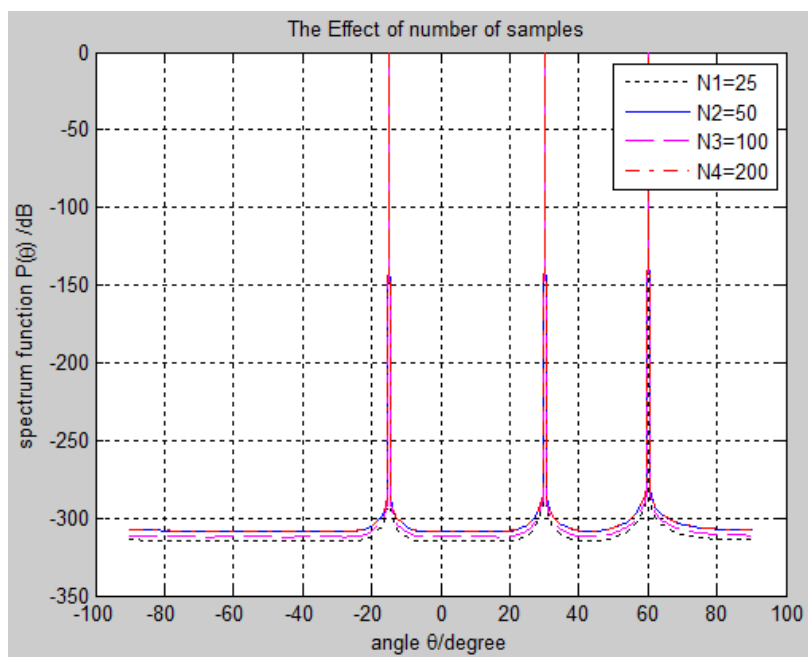
ب- حالة وجود ضجيج غوسي أبيض

الشكل(4): تأثير التباعد بين عناصر المصفوفة الخطية المتماثلة على اتجاه الوصول

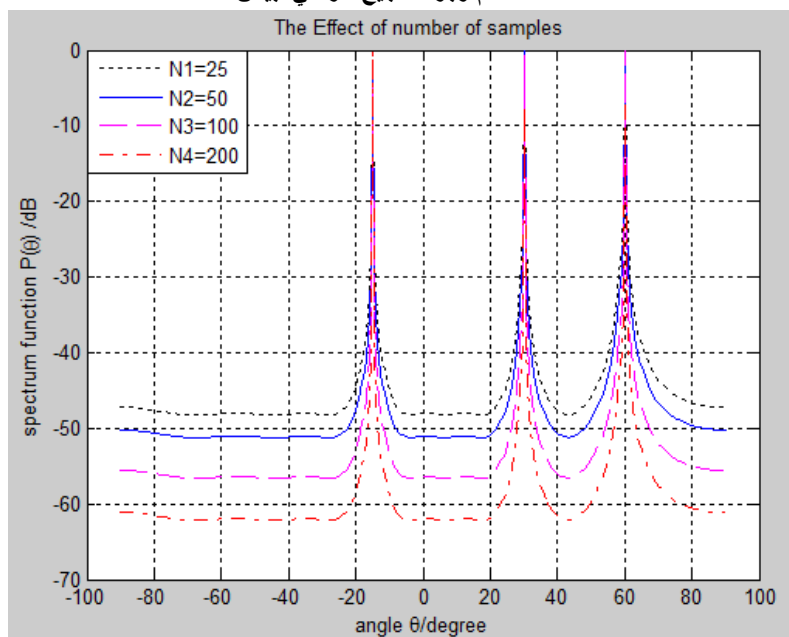
نجد من الشكل(4) أنه عندما يكون التباعد بين عناصر المصفوفة أقل من نصف طول الموجة يبقى شعاع طيف تقدير DOA ذو حزمة ضيقة واتجاهية عالية للمصفوفة ونحصل على دقة أكثر لخوارزمية MUSIC، ولكن عندما يصبح التباعد أكبر من نصف طول الموجة يظهر في الطيف المقدر لخوارزمية MUSIC ذرى زائفة أي تتخضع دقة التقدير، لذا يعتبر التباعد بين عناصر المصفوفة من البارامترات الهامة التي يجب أخذها بالاعتبار عند التصميم، ويجب ألا يزيد هذا التباعد عن نصف طول الموجة، ومن الأفضل أن يكون مساوياً لنصف طول الموجة.

### 3- دراسة تأثير عدد عينات الإشارة المستقبلية على اتجاه الوصول:

تمت في هذه الحالة دراسة تأثير عدد عينات الإشارة المستقبلية من قِبل عناصر مصفوفة الهوائيات على اتجاه الوصول المقدر باستخدام خوارزمية MUSIC، إذ تمَّ اختيار عدد العناصر في المصفوفة  $M=10$ ، وأنَّ التباعد بين هذه العناصر هو نصف طول الموجة، ومن أجل SNR وزوايا الوصول السابقة نفسها، وعدد عينات هو  $N_1=25, N_2=50, N_3=100, N_4=200$ ، وقد كانت النتائج الحاصلة كما هي موضحة في الشكل (5):



أ- حالة عدم وجود ضجيج غوسي أبيض



ب- حالة وجود ضجيج غوسي أبيض

الشكل(5): تأثير عدد عينات الإشارة المستقبلية على اتجاه الوصول

نلاحظ من الشكل (5) أنه مع زيادة عدد العينات يصبح عرض شعاع طيف تقدير DOA أضيق وبالنتيجة سوف تتحسن اتجاهية المصفوفة وتزداد دقة خوارزمية MUSIC، إلا أنه يجب ملاحظة أن العدد الكبير من العينات يؤثر على سرعة المعالجة (كما هو موضح في الجدول (2)) لأن كمية أكبر من البيانات يجب معالجتها من قبل الخوارزمية، لذا يجب اختيار عدد عينات مقبول بحيث يضمن دقة خوارزمية MUSIC ويقلل كمية الحساب مما يزيد من سرعة المعالجة.

الجدول(2): الزمن اللازم للمعالجة تبعاً لعدد عينات الإشارة المستقبلة من قبل المصفوفة

عدد العينات	25	50	100	200
زمن المعالجة (ثانية)	2.46	2.61	2.79	6.80

### الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا العمل دراسة تأثير بارامترات تصميم مصفوفة الهوائيات الخطية المتماثلة على اتجاه الوصول المقدر عن طريق خوارزمية MUSIC، وقد بينت النتائج التي تم الحصول عليها زيادة دقة تقدير اتجاه الوصول وتحسن اتجاهية المصفوفة مع زيادة عدد العناصر في المصفوفة وزيادة عدد العينات، كذلك الأمر مع زيادة التباعد بين العناصر مع بقائه أصغر من نصف طول الموجة، إلا أن دقة التقدير تتخفف مع زيادة هذا التباعد عن نصف طول الموجة، حيث تظهر ذرى زائفة في الطيف المكاني لخوارزمية MUSIC وبالنتيجة تتخفف اتجاهية المصفوفة، كما أن زيادة عدد العناصر في المصفوفة أو عدد العينات إلى حد كبير يزيد من التعقيد الحسابي للخوارزمية وهذا يؤثر على سرعة المعالجة، لذا يجب اختيار هذه البارامترات بدقة بما يضمن سرعة معالجة مقبولة.

يمكن دراسة بارامترات أخرى لمعرفة تأثيرها على دقة تقدير اتجاه الوصول مثل نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR، ودراسة مصفوفات هوائي بترتيبات مختلفة ثنائية الأبعاد (دائرية أو مستطيلة) ودراسة كيفية تقدير زاويتي السمات والارتفاع معاً عن طريق خوارزمية MUSIC.

### المراجع

- [1] EL-KAMCHOUCI H. M.؛ EL-TORGOMAN A. S.، *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, 2016, pp. 40-43.
- [2] HWANG H. K.; ALIYAZICIOGLU Z.; GRICE M.; YAKOVLEV A., *Direction of Arrival Estimation using a Root-MUSIC Algorithm*, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists Hong Kong Vol 2, March 2008, pp.1507-1510.
- [3] LEI L.; MING D., *Direction of arrival estimation for fewer snapshots signal in the impulsive noise environment*, Journal of Chemical and Pharmaceutical Research USA, Vol. 7(3), 2015, pp.632-635.
- [4] KARBHARI G. V.; DESHPANDE A.S., *Analysis of GSU-MUSIC DOA Estimation Algorithm for Smart Antenna*, International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering India, Vol. 3, Issue 2, 2015, pp.701-707.
- [5] SALUNKE D. B.; KAWITKAR R. S., *Analysis of LMS, NLMS and MUSIC Algorithms for Adaptive Array Antenna System*, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) India, Vol.2, Issue-3, February 2013, pp.130-133.

[6] MUBEEN S.; PRASAD A.M.; JHANSI RANI A., *Smart Antennas it's Beam Forming and DOA*, International Journal of Scientific and Research Publications India, Vol.2, Issue 5,

May 2012,pp.261-265.

[7] KUMBAR K. A., *Adaptive Beamforming Smart Antenna for Wireless Communication System*, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) India, Vol.02, Issue 3,June2015,pp.2038-2043.

[8] BALABADRAPATRUNI S. S., *Performance Evaluation of Direction of Arrival Estimation using MATLAB*, JNT University, Hyderabad, India.

[9] MUBEEN S.; RANI A.J.; PRASAD A.M., *Mobile Communication using SMART Antenna*, Special Issue 1stInternational Conference on Advent Trends in Engineering, Science and Technology "ICATEST",India, March 2015,pp.1-7.

[10] WU X.; GUO T., *Direction of Arrival Parametric Estimation and Simulation Based on MATLAB*, Journal of Computational Information Systems,China, December 2010,pp.4723-4731.

[11] WADHWANI M.; SONI A., *A Review of Smart Antenna System (SAS) with Array Processing Algorithms*, International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET) India, Vol. 5 Issue 1, January 2015, pp.77-80.

[12] ZEYANG D.; YUMING D., *DOA Estimation Based on Improved MUSIC Algorithm*, Proceedings of Conference on Communication Faculty,China,2009,pp.481-485.

[13] ALAM M. M.; RAJIB M. I.; BISWAS S. K., *Design and Performance Analysis of Smart Antenna System for DECT Radio Base Station in Wireless Local Loop*, Journal of Communications U.S.A., VOL. 5, NO. 8, AUGUST 2010,pp.593-603.