

تطوير خوارزمية تصنيف الإشارات المتعددة MUSIC لتقدير اتجاه الورد باستخدام هوائي BB-ESPAR-8 للإشارات ذات المجال الترددي العريض

م. بشير الشامي*

د. حسن أبو النور**

د. محمد ديب***

الملخص

تبيّن ورقة البحث هذه تطويراً لخوارزمية تصنيف الإشارات المتعددة (MUSIC) لتقدير اتجاه ورود إشارات اتصال تعمل ضمن مجال ترددي عريض باستخدام هوائي عريض المجال الترددي نوع BB-ESPAR-8 ، له عنصر فعال وحيد، وثمانية مشعات طفيلية [8].

تعتمد هذه الطريقة على تقسيم المجال الترددي الكلي الذي يعمل عليه الهوائي BB-ESPAR-8 إلى خمسة مجالات ترددية جزئية لكل منها مخططه الإشعاعي الخاص به، ثم يستخدّم المخطط الإشعاعي المناسب لكل مجال ترددي جزئي وتُطبّق خوارزمية MUSIC على هذه المجالات، لاستنتاج النتائج النهائية.

بيّنت نتائج المحاكاة على الطريقة المقترحة أنها تعطي نتائج تحديد اتجاه بدقة عالية (2°) لإشارات اتصال ذات تعديل نوع BPSK ودقة تحديد جيدة (4°) للإشارات ذات التعديل السعوي، ودقة (2°) للإشارة عريضة المجال الترددي، كذلك بيّنت هذه الورقة مجموعة توصيات خاصة بالتعديل السعوي وترتبط باختيار سرعة دوران المخطط الإشعاعي للهوائي BB-ESPAR-8 للحصول على دقة تقدير الاتجاه.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الطريقة المقترحة واعدة، إذ يمكن استخدامها في أنظمة الاتصالات عريضة المجال الترددي

الكلمات المفتاحية: الهوائيات الذكية، الهوائي ESPAR ، خوارزمية MUSIC، تقدير اتجاه الورد .

* أعد هذا البحث في سياق بحث الدكتوراه للمهندس بشير الشامي بإشراف الدكتور حسن أبو النور، والدكتور محمد ديب - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

** قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

*** قسم الاتصالات - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.

1- مقدمة

ازداد الاهتمام بنظم الاتصال عريضة المجال الترددي التي تستخدم مبدأ نثر الطيف الترددي spread spectrum، ومبدأ القفز الترددي frequency hopping لما تقدمه هذه الأنظمة من ميزات مهمة مقارنة بالاتصالات التقليدية، إذ تتطلب كثافة استطاعة إرسال صغيرة نسبياً، وتعمل بمعدل إرسال معطيات عالٍ، ومن ثمّ تحسن معامل استخدام المجال الترددي وتقلل من إمكانية اعتراض الإشارات المرسلّة. نظراً إلى أهمية هذه الميزات من جهة وإلى تطور تقنيات الاتصالات ورخص تكاليفها نسبياً من جهة أخرى، فقد ازداد الطلب على هذه الأنظمة وازدادت البحوث والدراسات المخصصة لتحسين أدائها وميزاتها، ومن أهمها البحوث المرتبطة بتقدير اتجاه الورد DOA، وتشكيل حزمة إشعاع الهوائي Beamforming. إن معرفة اتجاه ورود الإشارة المفيدة ومن ثم توجيه حزمة إشعاع الهوائي الرئيسية باتجاهها، سوف يؤديان إلى تحسين شدة الإشارة المستقبلية ومن ثمّ إلى تحسين نسبة الإشارة للضجيج SNR [1] [2] [3] أي تحسين مواصفات نظام الاستقبال.

يمكن تصنيف الطرائق والخوارزميات المستخدمة في حل مسائل تقدير اتجاه الورد إلى [4]:

§ الطرائق التقليدية وهي طرائق التقدير الخطية.

§ الطرائق التي تستخدم القيم البنيوية المميزة Eigenstructure methods مثل:

• طريقة تقدير محددات الإشارة من خلال تقنية اللامتغير الدوراني Estimation Of Signal Parameters Via Rotational Invariance Technique (ESPRIT).

• طريقة تصنيف الإشارات المتعددة Multiple Signals Classification (MUSIC).

يقدم هذا البحث عرضاً لطريقة مطورة تستخدم خوارزمية MUSIC لتقدير اتجاه إشارات محيطية تعمل

ضمن مجال ترددي عريض. تستخدم بنية مقترحة لنظام هوائي ذكي خاص مكون من هوائي قابل للتوجيه كهربائياً ذي مدخل فعال وحيد نوع BB-ESPAR-8 متصل مع قسم تحكم ومعالجة تقوم بالتحكم بدوران المخطط الإشعاعي للهوائي، وبتنفيذ الطريقة المطورة لاستخدام خوارزمية MUSIC.

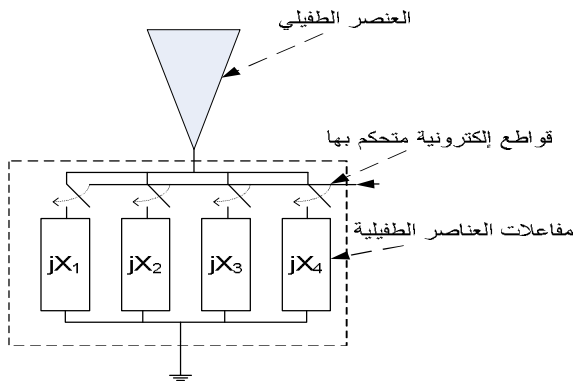
سُتعرضُ في هذه المقالة بنية الهوائي BB-ESPAR-8، والعلاقات الرياضية الرئيسة التي توصف الإشارات عريضة المجال الترددي المستقبلية فيه، كذلك ستعرض خوارزميات تقدير اتجاه الورد، أو تحديد الاتجاه Direction Finding DF. من ثمّ ستُتّرحُ طريقة مطورة تستخدم خوارزمية MUSIC التي تعدّ من أهم الطرائق المستخدمة في مسائل تحديد الاتجاه [6] [4] [5]، نظراً إلى ما تقدمه هذه الطريقة من دقة نتائج عالية وسهولة وسرعة في الحساب [7] [6]، وكذلك ستُتّعرضُ التعديلات الواجب أخذها بالحسبان عند استخدام هذه الخوارزمية مع هوائي ذي دخل فعال وحيد، وستوضّحُ الشروط الأولية لتطبيق خوارزمية MUSIC لإجراء عملية تقدير الاتجاه باستخدام هذا النوع من الهوائيات.

في الختام ستجرى محاكاة لمجموعة مختلفة من الإشارات المحيطية تمثل طيفاً واسعاً من نظم الاتصال منها ضيقة المجال الترددي تستخدم تعديل BPSK أو تعديل مطالي، ومنها نظم اتصال عريضة المجال الترددي تستخدم مبدأ نثر الطيف الترددي أو تستخدم مبدأ القفز الترددي. كذلك سيُدرَسُ أثر نسبة الإشارة للضجيج في دقة نتائج الخوارزمية المقترحة وستوضّحُ العلاقة بين سرعة دوران التحكم بالمخطط الإشعاعي للهوائي ومحددات الإشارة المحيطية.

2- الهوائي BB-ESPAR-8: [8]

هو هوائي عريض المجال الترددي يتكون وفق الشكل (1) من عنصر مركزي فعال وحيد نوع هوائي

تؤمن قيم مجموعة المفاعلات المنتخبة للهوائي BB-ESPAR-8 مخطط إشعاع متناظراً، وربحاً وتوجيهية محددة على كامل مجال عمله الترددي.



الشكل (2) بنية مجموع الأحمال الموصلة إلى العناصر

تُوصَل نقاط التحكم بفصل المفاعلات ووصلها إلى قسم التحكم، الذي يقوم بانتخاب قيمة معينة من قيم المفاعلات الأربعة الموصلة مع كل عنصر طفيلي، ومن ثمّ يمكن ومن خلال إجراء إزاحة دورانية لقيم السماحيات وفق ما هو مبين في الجدول (1) التحكم بتوجيه الإشعاع وتدويره في الفراغ بخطوة 45^0 ضمن المجال 360^0 .

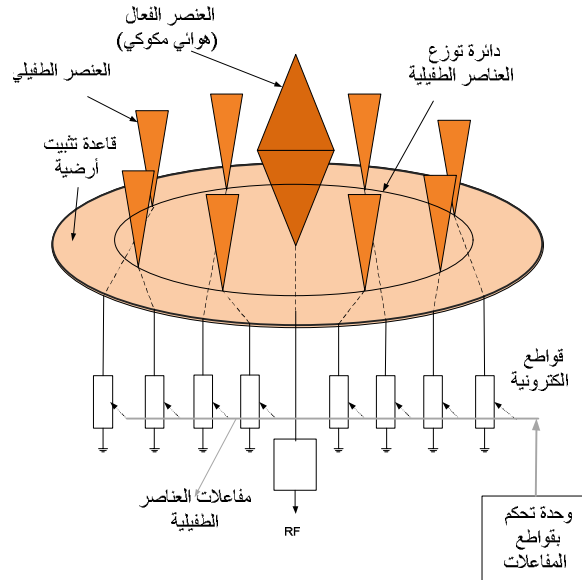
كمثال لهذا الهوائي نأخذ هوائياً يعمل ضمن المجال الترددي [500-700] MHz، ويتميز بنسبة أمواج مستقرة VSWR منخفضة 3.1:1، ومخطط إشعاعي ثابت التوجيه على كامل مجاله الترددي. [2] [1] [8].

الجدول (1) طريقة إزاحة قيم المفاعلات على العناصر

الطفيلية في الهوائي BB-ESPAR-8

العنصر الطفيلي	قيم المفاعلات							
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
#1	JX_1	JX_2	JX_3	JX_4	JX_5	JX_6	JX_7	JX_8
#2	JX_8	JX_1	JX_2	JX_3	JX_4	JX_5	JX_6	JX_7
#3	JX_7	JX_8	JX_1	JX_2	JX_3	JX_4	JX_5	JX_6
#4	JX_6	JX_7	JX_8	JX_1	JX_2	JX_3	JX_4	JX_5
#5	JX_5	JX_6	JX_7	JX_8	JX_1	JX_2	JX_3	JX_4
#6	JX_4	JX_5	JX_6	JX_7	JX_8	JX_1	JX_2	JX_3
#7	JX_3	JX_4	JX_5	JX_6	JX_7	JX_8	JX_1	JX_2
#8	JX_2	JX_3	JX_4	JX_5	JX_6	JX_7	JX_8	JX_1

مكوكي shuttle antenna، وثمانية مشعات طفيلية من نوع وحيد القطبية monopole-disco (على شكل مخروط دائري قاعدي) مثبتة بشكل متناظر حول العنصر الفعال المركزي، على دائرة نصف قطرها يساوي ربع طول الموجة لأعلى تردد في المجال



الشكل (1) بنية الهوائي BB-ESPAR-8

الترددي للهوائي. يُثَبَّتُ العنصر الفعال والعناصر الطفيلية المحيطة على قاعدة معدنية اسطوانية الشكل نصف قطرها يساوي نصف طول الموجة لأعلى تردد في المجال الترددي للهوائي.

توصَلُ العناصر الطفيلية تحت القاعدة الاسطوانية بمجموعة مكونة من ثماني قيم مفاعلات $(jX_1, jX_2, jX_3, jX_4, jX_5, \dots, jX_8)$ ، تُنتخبُ من مجموعة مكونة من أربع قيم مفاعلات مختلفة (jX_1, jX_2, jX_3, jX_4) ، وفق الشكل (2). باعتبار أن

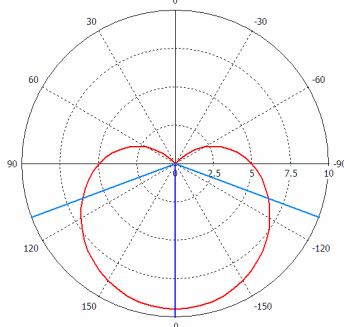
$$X_5=X_1, X_6=X_2, X_7=X_3, \& X_8=X_4$$

توصل هذه المفاعلات إلى كمون الأرض عن طريق قواطع إلكترونية متحكم بها مشكلة من ثنائيات نوع PIN diode.

وتعطي علاقة المفاعلات المتبادلة بين العنصر الفعال الوحيد والعناصر الطفيلية من جهة وبين العناصر الطفيلية فيما بينها بالشكل المصفوفي Z ، و يمثل

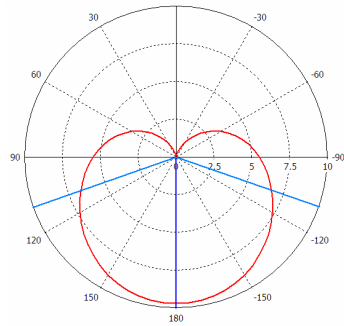
$$f = 500 \text{ MHz}$$

$$G = 9.6 \text{ dBi}$$



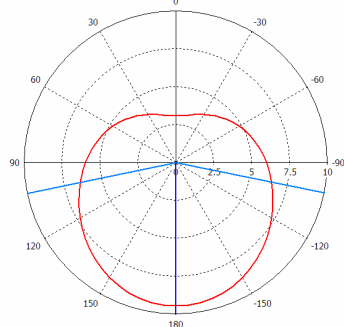
$$f = 550 \text{ MHz}$$

$$G = 9.4 \text{ dBi}$$



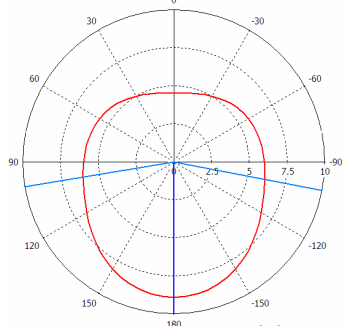
$$f = 600 \text{ MHz}$$

$$G = 9.7 \text{ dBi}$$



$$f = 650 \text{ MHz}$$

$$G = 9.4 \text{ dBi}$$



$$f = 700 \text{ MHz}$$

$$G = 9.5 \text{ dBi}$$

الشكل (3) المخطط الإشعاعي للهوائي BB-ESPAR-8 عند ترددات مختلفة ضمن المجال الترددي 500-700MHz

يبين الشكل (3) نتائج المحاكاة للهوائي BB-ESPAR-8 المأخوذ بالحساب باستخدام البرمجية التخصصية الجاهزة Computer Simulation Technology CST عند قيم عينات ترددية مختارة تشمل كامل المجال الترددي للهوائي، علماً بأن هذا الهوائي يحافظ على اتجاه إشعاع ثابت على كامل المجال الترددي، وذلك عند تطبيق قيم المفاعلات نفسها على المشعاعات الطفيلية، كما يعطي ربحاً توجيهية أكبر من 9 dBi على كامل مجال عمله الترددي. [8].

3- نموذج إشارة الهوائي BB-ESPAR-8

إن مبدأ عمل الهوائي BB-ESPAR-8 يختلف عن عمل الهوائيات المصفوفية التقليدية، فهو يقوم بتشكيل اتجاه الإشعاع رئيس معين من أصل ثمانية اتجاهات مرجعية له. ويجري تغيير اتجاه الإشعاع بحسب إعادة الترتيب التسلسلي لمجموعة المفاعلات نفسها.

تطوّر استطاعة إشارة هذا الهوائي المستقبلية من العنصر الفعال الوحيد وفق العلاقة الآتية [9] [7]:

$$y(t) = \mathbf{I}^T \mathbf{S}(t) + n(t) \quad (1)$$

إذ: \mathbf{I}^T يمثل منقول شعاع تيارات الإشارة RF المتشكلة على عناصر الهوائي:

$$\mathbf{I}^T = [i_0, i_1, i_2, \dots, i_8] \quad (2)$$

$\mathbf{S}(t)$: تمثل شعاع الإشارات المتشكلة على عناصر الهوائي ويعطى وفق العلاقة الآتية:

$$\mathbf{S}(t) = [s_0(t), s_1(t), \dots, s_8(t)]^T \quad (3)$$

$n(t)$: يمثل ضجيجاً أبيض مرافقاً للإشارة بتوزيع غاوسي واستطاعة σ^2 .

يعطى شعاع الجهود المتشكلة على عناصر الهوائي كلها بالعلاقة [7]:

$$\mathbf{V} = [v_0, v_1, \dots, v_8]^T \quad (4)$$

\mathbf{X} : مصفوفة قطرية تعطى وفق ما يأتي:

$$\mathbf{X} = \text{diag}[Z_0, jx_1, jx_2, \dots, jx_8] \quad (9)$$

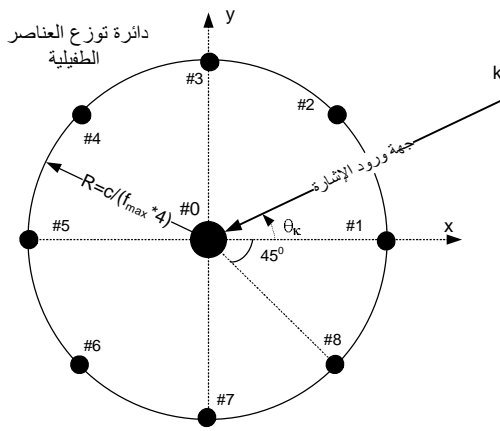
من جهة أخرى العلاقة بين شعاعي التيار والجهد تعطى وفق ما يأتي:

$$\mathbf{V} = \mathbf{Z}\mathbf{I} \quad (10)$$

بتعويض المعادلة (8) في المعادلة (10) تنتج علاقة لنموذج إشارة الهوائي في حالة الإرسال:

$$\mathbf{I} = v_s (\mathbf{Z} + \mathbf{X})^{-1} \mathbf{u}_0 = v_s \mathbf{E}_0 \quad (11)$$

$$\mathbf{E}_0 = (\mathbf{Z} + \mathbf{X})^{-1} \mathbf{u}_0 \quad \text{إذ:}$$



الشكل (4) اتجاه ورود الإشارة بالنسبة إلى بنية الهوائي

BB-ESPAR-8

بفرض أن الإشارة k ترد إلى الهوائي من الزاوية θ_k وفق ما هو مبين في الشكل (4)، فإن الفرق في مسار الإشارة إلى العنصر الفعال ومسارها إلى العناصر الطفيلية يولد فرقاً صفحياً مختلفاً من عنصر طفيلي إلى آخر ويعطى بالعلاقة:

$$\frac{2p}{l} R \cos(q_k - \frac{2p}{8} (N - 1)) \quad (12)$$

ومن ثمّ تعطى مركبات شعاع التحكم بتوجيه الحزمة الرئيسية للإشعاع في الزاوية θ_k بالعلاقة:

$$\mathbf{a}_N(q_k) = \exp \left[j \frac{2p}{l} R \cos(q_k - \frac{2p}{8} (N - 1)) \right] \quad (13)$$

$$N = 1, \dots, 8$$

فيها على سبيل المثال العنصر z_{kl} الممانعات المتبادلة بين العناصر k و l إذ $(0 \leq k, l \leq 8)$. وتعطى علاقة \mathbf{Z} بالمصفوفة [6] [3]:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} z_{00} & z_{01} & z_{02} & \dots & z_{08} \\ z_{10} & z_{11} & z_{12} & \dots & z_{18} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{70} & z_{71} & z_{72} & \dots & z_{78} \\ z_{80} & z_{81} & z_{82} & \dots & z_{88} \end{bmatrix} \quad (5)$$

كما تعطى علاقة الجهد المتشكل على العنصر m مع التيار المتشكل عليه i_m والمفاعلة الموصلة إليه x_m وفق العلاقة الآتية:

$$v_m = -jx_m i_m \quad m = 1, 2, \dots, 8 \quad (6)$$

وكذلك يعطى الجهد v_0 الذي يمثل جهد إشارة الهوائي في العنصر الفعال بالعلاقة:

$$v_o = v_s - z_o i_o \quad (7)$$

إذ:

z_0 : تمثل ممانعة خرج المرسل في حال عمل الهوائي كمرسل، أو ممانعة دخل المستقبل في حال عمل الهوائي

$$\text{كـمـسـتـقـبـل} [5], z_o = 50 \Omega$$

v_s : تمثل جهد المنبع RF الموصول إلى الهوائي في حالة الإرسال، وتمثل جهد RF المتشكل على العنصر الفعال للهوائي في حالة الاستقبال،

ومن ثمّ يعطى شعاع الجهود المبيّن بالعلاقة (4) بعد تعويض العلاقات (6) و (7) وفق ما يأتي:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_s - Z_o i_o \\ -jx_1 i_1 \\ -jx_2 i_2 \\ \vdots \\ -jx_8 i_8 \end{bmatrix} = v_s \mathbf{u}_0 - \mathbf{X}\mathbf{I} \quad (8)$$

إذ:

\mathbf{u}_0 : يمثل شعاع واحدياً يعطى بالشكل:

$$\mathbf{u}_0 = [1, 0, 0, \dots, 0]^T$$

ثم يُوصَفُ عمل هذا الهوائي من خلال استخدام مخططات الإشعاع المأخوذة نتيجة عملية المحاكاة للهوائي باستخدام البرمجية التخصصية CST المبيّنة في الشكل (3). يمكن نظرياً استخدام نتائج المحاكاة للمخطط الإشعاعي للهوائي عند الترددات كلّها ضمن مجال عمله الترددي. ولما كان الفرق الأعظمي بالريح بين المخططين الإشعاعيين عند التردد f و $(f \pm 25\text{MHz})$ لا يتجاوز 0.2 dB فإنه يسمح بإجراء تقريب مقبول وبخطأ لا يتجاوز 2%، وبفرض أن المخططات الإشعاعية للهوائي عند الترددات الواقعة ضمن المجال $[f \pm 25\text{ MHz}]$ تماثل المخطط الإشعاعي له عند التردد f . ونتيجة لذلك فإنه يمكن تقسيم المجال الترددي الكامل للهوائي إلى خمسة مجالات جزئية رئيسية مبيّنة في الجدول (2)

الجدول (2) المجالات الترددية الجزئية للهوائي

المجال الترددي الجزئي	f_{ref}	f_{min}	f_{max}
Pf_1	500	500	525
Pf_2	550	526	575
Pf_3	600	576	625
Pf_4	650	626	675
Pf_5	700	676	700

إذ يُقَرَّبُ شكل المخطط الإشعاعي لكل تردد يقع ضمن المجال الترددي الجزئي الواحد بالمخطط الإشعاعي للتردد المرجعي فيه f_{ref} ، وهكذا يُمَثَلُ المخطط الإشعاعي الكامل لهذا الهوائي من خلال خمسة مخططات إشعاعية مختلفة، يتعلق كل منها بمتحولين رئيسيين هما:

§ تردد الإشارة المحيطية المستقبلية.

§ زاوية ورود الإشارة المحيطية.

إذاً عند ورود إشارة محيطية k ، من زاوية ورود θ في محيط الهوائي، يُحدَّدُ المجال الترددي الجزئي f_{Pf_n} الذي تقع فيه هذه الإشارة في المجال الترددي $[\text{Pf}_1, \text{Pf}_5]$ ،

ويعطى شعاع التحكم بتوجيه الحزمة الرئيسية للهوائي BB-ESPAR-8 في الزاوية θ_k بالعلاقة:

$$\mathbf{a}(q_k) = [1, a_1(q_k), a_2(q_k), \dots, a_8(q_k)] \quad (14)$$

وبحسب نظرية التبادل للمخطط الإشعاعي [10]. في حالة الاستقبال، فإن الإشارة المستقبلية ذات التردد الوحيد f من العنصر الفعال الوحيد في الهوائي BB-ESPAR-8 تعطى بالعلاقة الآتية:

$$u(t) = \mathbf{a}(q_k) \cdot \mathbf{S}_k(t) + n(t) \quad (15)$$

إذ: $\mathbf{S}_k(t)$ تمثل شعاع الإشارات المتشكلة من الإشارة k الموجودة في المجال البعيد لكشف الهوائي، وفي اتجاه زاوي q_k بالنسبة إلى الهوائي، ومن ثمّ يمكن كتابة العلاقة (15) في حالة وجود K إشارة محيطية حول الهوائي وبتردد وحيد f بالشكل:

$$\mathbf{u}(t) = \sum_{q=1}^K \mathbf{a}(q_q) \cdot \mathbf{S}_q(t) + \mathbf{n}(t) \quad (16)$$

يجري التحكم باتجاه الإشعاع الأعظمي للهوائي BB-ESPAR-8 أو تغيير مركبات شعاع التحكم بالتوجيه $\mathbf{a}(q_k)$ من خلال تغيير مجموعة المفاعلات الموصلة إلى عناصر الهوائي الطفيلية. ويتغيّر شكل المخطط الإشعاعي والريح الأعظمي للهوائي في الاتجاه المحدد بحسب تردد هذه الإشارة.

لما كان الهوائي BB-ESPAR-8 ذا مجال ترددي عريض، ومحددات ثابتة الأبعاد تتعلق بطول موجة أعلى تردد ضمن مجال عمله الترددي [1]، فإن العلاقة R/I بين نصف قطر الدائرة التي يجري تثبيت المشعات الطفيلية عليها، وبين طول موجة الإشارة اللحظية هي علاقة متغيرة بتغيير تردد الإشارة اللحظي، ونظراً إلى كون المخطط الإشعاعي للهوائي ثابت الاتجاه على كامل المجال الترددي، فإن التأثير المتبادل mutual coupling بين عناصر الهوائي يتغيّر وفق الحالة المحسوبة عند التردد الأعظمي في مجاله الترددي. ومن

$$\mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ u_3(t) \\ \vdots \\ u_8(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{1Pf_1}(t) + u_{1Pf_2}(t) + \dots + u_{1Pf_5}(t) \\ u_{2Pf_1}(t) + u_{2Pf_2}(t) + \dots + u_{2Pf_5}(t) \\ u_{3Pf_1}(t) + u_{3Pf_2}(t) + \dots + u_{3Pf_5}(t) \\ \vdots \\ u_{8Pf_1}(t) + u_{8Pf_2}(t) + \dots + u_{8Pf_5}(t) \end{bmatrix}$$

وكذلك الأمر يمكن كتابة الشعاع \mathbf{u} بالشكل:

$$\begin{bmatrix} u_{1Pf_n}(t) \\ u_{2Pf_n}(t) \\ u_{3Pf_n}(t) \\ \vdots \\ u_{8Pf_n}(t) \end{bmatrix} = \sum_{n=1}^{n=5} \mathbf{u}_{Pf_n}(t) \quad (20)$$

وكذلك يجري التعبير عن علاقة كل مركبة ترددية جزئية لشعاع الإشارات المستقبلية \mathbf{u} وفق العلاقة (16) وفق ما يأتي:

$$\mathbf{u}_{Pf}(t) = \sum_{q=1}^K \mathbf{a}_{Pf}(q_k) \cdot \mathbf{S}_{qPf}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (21)$$

وبشكل أعم تعطى علاقة شعاع إشارات الخرج $\mathbf{u}(t)$ عريضة المجال الترددي بالشكل:

$$\mathbf{u}(t) = \sum_{n=1}^{n=5} \left(\sum_{n=1}^K \mathbf{a}_{Pf_n}(q_q) \mathbf{S}_{qPf_n}(t) \right) + \mathbf{n}(t) \quad (22)$$

$$= \sum_{n=1}^{n=5} \mathbf{u}_{Pf_n}(t)$$

يمكن كتابة العلاقة (22) بالشكل المصفوفي:

$$= \sum_{p=1}^{p=5} \begin{pmatrix} a_{1Pf_1}(q) & a_{1Pf_2}(q) & \dots & a_{1Pf_5}(q) \\ a_{2Pf_1}(q) & a_{2Pf_2}(q) & \dots & a_{2Pf_5}(q) \\ a_{3Pf_1}(q) & a_{3Pf_2}(q) & \dots & a_{3Pf_5}(q) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{8Pf_1}(q) & a_{8Pf_2}(q) & \dots & a_{8Pf_5}(q) \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} s_{1Pf_1}(t) \\ s_{2Pf_1}(t) \\ s_{3Pf_1}(t) \\ \dots \\ s_{8Pf_1}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ n_3(t) \\ \dots \\ n_8(t) \end{bmatrix} \quad (23)$$

وتعطى علاقة شعاع التحكم بتوجيه الحزمة الرئيسية للهوائي BB-ESPAR-8 لهذه الإشارة كما يأتي:

$$\mathbf{a}_{Pf_n}(q_k) = [1, a_{1Pf_n}(q_k), a_{2Pf_n}(q_k), \dots, a_{8Pf_n}(q_k)] \quad (17)$$

إذ:

n : تمثل ترتيب المجال الترددي الجزئي الذي تنتمي إليه تردد الإشارة.

يمكن تعميم العلاقة (16) من أجل K إشارة محيطية عريضة المجال الترددي، من خلال فرز هذه الإشارات المستقبلية S_k جميعها بحسب مركباتها الترددية الأساسية، باستخدام مجموعة من مرشحات تمرير حزمة تكافئ الحزم الترددية الجزئية للهوائي BB-ESPAR-8، إذ تعطى على مخرجها قيم المركبات الترددية الجزئية للإشارة k وفق ما يأتي:

$$s_k(t) = s_{kPf_1}(t) + s_{kPf_2}(t) + \dots + s_{kPf_5}(t)$$

ومن ثمّ يمكن كتابة علاقة شعاع الإشارات المستقبلية على عناصر الهوائي وفق العلاقة (3) بالشكل:

$$\mathbf{S}(t) = \begin{bmatrix} s_{0Pf_1}(t) + s_{0Pf_2}(t) + \dots + s_{0Pf_5}(t) \\ s_{1Pf_1}(t) + s_{1Pf_2}(t) + \dots + s_{1Pf_5}(t) \\ \vdots \\ s_{KPf_1}(t) + s_{KPf_2}(t) + \dots + s_{KPf_5}(t) \end{bmatrix}$$

$$= \sum_{n=1}^{n=5} \begin{bmatrix} s_{0Pf_n}(t) \\ s_{1Pf_n}(t) \\ \vdots \\ s_{KPf_n}(t) \end{bmatrix} = \sum_{q=1}^{q=K} \sum_{n=1}^{n=5} \mathbf{S}_{qPf_n}(t) \quad (19)$$

(Estimation of Signal Parameters via Rotational
(Total Least Squares) ESPRIT
Invariance Techniques) ESPRIT
Squares

ESPRIT' [4] TLS

تعدُّ خوارزمية MUSIC المقترحة من Schmidt [3] من أهم الطرائق المستخدمة في مجال تطبيقات تقدير زوايا الورد. فهي تعطي نتائج دقيقة وتحتاج إمكانات حسابية وزمن معالجة قليلين نسبياً. [9]

ويشترط تطبيق هذه الخوارزمية الأمور الآتية:

الهوائي ذو بنية خطية منتظمة، ومشعته الطفيلية متشابهة. عدد الإشارات الواردة، وهي إشارات غير مترابطة، أقل من عدد المشعات الطفيلية. وتقع في المجال البعيد لإشعاع الهوائي، وذات استطاعة أكبر من استطاعة الضجيج المرافق. الضجيج المرافق ذو توزيع غاوسي، متساوي الاستطاعة في الاتجاهات كلها.

5- تطوير خوارزمية MUSIC باستخدام هوائي BB-ESPAR-8.

تم تطوير خوارزمية MUSIC باستخدام الهوائي BB-ESPAR-8 لتعمل على مجال ترددي عريض من خلال ما يأتي:

- تقسيم المجال الترددي العريض للهوائي إلى خمسة مجالات ترددية جزئية مبيّنة في الجدول (2).

- استخدام قيم أشعة توجيه الهوائي الرئيسية Steering Vectors بدقة 1° والمحسوبة لكل مجال من المجالات الترددية الجزئية من نتائج برمجية النمذجة التخصصية CST.

- تشكيل أشعة الإشارات المحيطة باستخدام إحدى الطريقتين الآتيتين:

§ في تعديل BPSK يدور شعاع المسح للهوائي BB-ESPAR-8 M=8 مرة، ويتم تحصيل N عينة عند كل اتجاه.

تبيّن العلاقة (23) أن خرج الهوائي BB-ESPAR-8 يمثل مجموع لخمسة مخارج مختلفة، كل منها يشبه خرج مصفوفة هوائيات مكونة من ثمانية عناصر.

تعطى مصفوفة الترابط R_{uu} للإشارات المستقبلية ذات التردد الوحيد وفق العلاقة:

$$R_{uu} = E(\mathbf{u}(t)\mathbf{u}^H(t)) = \frac{1}{N_s} \mathbf{U}\mathbf{U}^H \quad (24)$$

إذ: $E(\cdot)$ تمثل تابع القيمة المتوقعة.

H: تمثل متمم منقول المصفوفة.

بفرض أن الضجيج غير مترابط من عينة إلى أخرى، وهو ضجيج إضافي أبيض ذو توزيع غوسي. Additive White Gaussian Noise AWGN، باستطاعة σ^2 . فإنه يمكن كتابة العلاقة (24) بالشكل:

$$R_{uu} = E[\mathbf{a}(q_1) \mathbf{a}(q_2) \dots \mathbf{a}(q_k)] \times \mathbf{R}_{ss} \times [\mathbf{a}(q_1) \mathbf{a}(q_2) \dots \mathbf{a}(q_k)]^H + \sigma^2 \mathbf{I} \quad (25)$$

$$R_{ss} = E\{[s_1(t) s_2(t) \dots s_k(t)]^T \times [s_1(t) s_2(t) \dots s_k(t)]^*\}$$

إذ:

(*) تعبر عن إشارة المرافق العقدي complex conjugate.

(^T) تعبر عن إشارة المنقول transpose لشعاع التحكم بالتوجيه الخاص بهذا النوع من الهوائيات.

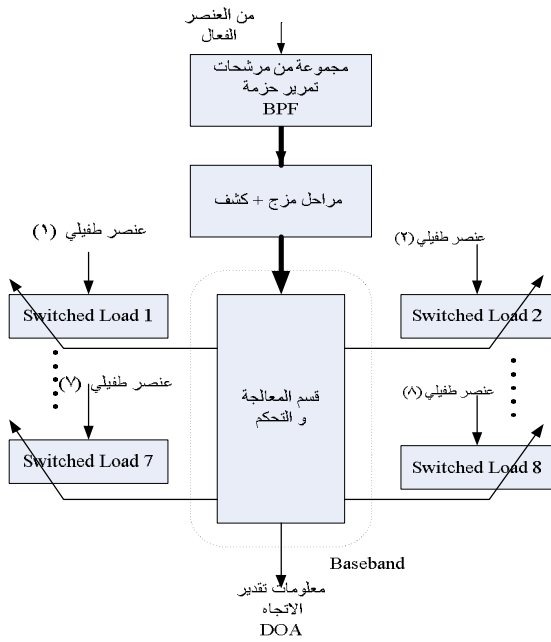
4- آليات تطبيق خوارزميات تقدير الاتجاه

تستخدم أنظمة تقدير زوايا الورد خوارزميات وطرائق متعددة، وتشارك جميعها في استخدام مصفوفة التغيرات أو مصفوفة الترابط للإشارات المستقبلية المأخوذة بشكل عينات sampled covariance matrix وتقسّم إلى [4]:

- طرائق الفضاء الجزئي المتعامد orthogonal subspace

مثل: طريقة بيزارنكو Pizarrenko وطريقة MUSIC، وطريقة Root-MUSIC [11] [4].

- طرائق الفضاء الجزئي للإشارة signal subspace methods مثل: طريقة:



الشكل (5) مخطط صندوقي لطريقة ربط الهوائي BB-ESPAR-8 مع قسم المعالجة والتحكم

تعطى كل نتيجة من النتائج المفروزة ترددياً إلى قناة مزج وكشف مستقلة، حيث يجري تحويلها إلى التردد الأساسي Baseband، بحسب نوع الاتصال والتعديل المستخدم.

تعطى هذه الإشارات إلى قسم المعالجة والتحكم، الذي يقوم بالعمليات الأساسية الآتية:

- تبديل هذه الإشارات من الصيغة التمثيلية إلى الصيغة الرقمية، وتخزينها حتى تنتهي عمليات استقبال الإشارات المحيطية.

- إعطاء ثمانية أوامر إزاحة دورانية لإشعاع الهوائي عن طريق إزاحة الأحمال المطبقة على مشعاته الطفيلية، بخطوة دورانية 45^0 التي يستطيع هذا النوع من الهوائيات أن يؤمنها، وذلك خلال زمن T بحيث يضمن تحقق الشرطين الأساسيين:

- عدم تغيير قيم الإشارات المحيطية.

§ في التعديل المطالي يدور الهوائي N مرة ويتم تحصيل عينة واحدة فقط عند كل جهة توقف للهوائي.

ومن ثمّ يمكن كتابة أشعة الإشارات المستقبلية لكل مجال ترددي جزئي بالعلاقة:

$$U_{pf_n}(t) = [u_{1pf_n}(t), u_{2pf_n}(t), \dots, u_{8pf_n}(t)] \quad (26)$$

وتعطى علاقة الأشعة المستقبلية على كامل المجال الترددي للهوائي بالعلاقة:

$$U(t) = \sum_{n=1}^{n=5} U_{pf_n}(t) \quad (27)$$

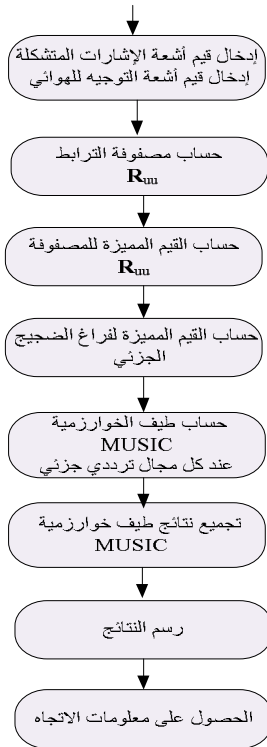
- تطبيق خوارزمية MUSIC على كل مجال ترددي جزئي من المجالات الخمسة.

- تجميع المعلومات الناتجة من المجالات الترددية الجزئية كلّها في الهوائي BB-ESPAR-8 وإعطائها كنتيجة نهائية لمعالجة الإشارات الواردة على كامل المجال الترددي العريض للهوائي، ويبين الشكل (5) الطريقة المقترحة لربط الهوائي مع قسم المعالجة والتحكم في نظام تقدير الاتجاه للإشارات الواقعة ضمن مجال عمله الترددي العريض، إذ يُربط من خلال مدخله الموصل إلى العنصر الفعال الوحيد فيه، وتتم عملية استقبال الإشارات المحيطية من كل اتجاه من الاتجاهات الأساسية للهوائي، وتعطى إلى مجموعة مرشحات تمرير حزمة BPF تقوم بفرز الإشارات إلى المجالات الترددية الجزئية للهوائي.

$$P_{MU_n} = \frac{1}{|\mathbf{E}_N^H \mathbf{a}_{pf_n}(q)|^2} \quad (29)$$

إذ: $\mathbf{a}_{pf_n}(q)$ يمثل شعاع توجيه الهوائي BB-ESPAR-8 في المجال الترددي الجزئي n في زاوية السمات θ .

- تجميع نتائج الخوارزمية MUSIC المنفذة في كل مجال ترددي جزئي للهوائي، وتشكيل الخرج النهائي أو شبه الطيف الناتج من خرج الخوارزمية MUSIC المطورة، الذي يعبر عن زوايا الورود لإشارات تعمل في مجال ترددي عريض.



إشارات تعمل ضمن مجال ترددي عريض
معالجة عمليات تنفيذ خوارزمية MUSIC

الشكل (6) المخطط الانسيابي لبرنامج المحاكاة المستخدم في إجراء التجارب

• عدم تغيير زوايا أو سمت الإشارات المحيطة بالنسبة إلى إحداثيات الهوائي خلال عملية القياس (دوران مخطط الإشعاع لإتمام عملية القياس).

- استخدام القيم الرقمية المخزنة في المرحلة الأولى في تشكيل ثمانية أشعة للإشارات المستقبلية في كل مجال ترددي جزئي، كل شعاع منها مكون من N عينة. تعطى قيم هذه الأشعة إلى دارة معالجة إشارة عددية DSP Digital Signal Processing، لتنفيذ خوارزمية تقدير جهات الورود MUSIC وفق الشكل (6) الذي يبين تسلسل العمليات الآتي:

- تشكيل شعاع الإشارات المستقبلية:

$$\mathbf{u}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_7(t), u_8(t)]^T$$

- تحليل عناصر شعاع الإشارات المستقبلية إلى مركباتها الترددية الجزئية الرئيسية لتعطى قيم هذه المركبات وفق العلاقة (20).

- حساب مصفوفة الترابط لكل مركبة للإشارة تقع ضمن مجال ترددي جزئي وفق العلاقة الآتية:

$$\mathbf{R}_{u_{pf} u_{pf}} = E(\mathbf{u}_{pf}(t) \mathbf{u}_{pf}^H(t)) = \frac{1}{N} \mathbf{U}_{pf} \mathbf{U}_{pf}^H \quad (28)$$

حساب القيم المميزة Eigen values والأشعة المميزة Eigen vectors لمصفوفة الترابط $\mathbf{R}_{u_{pf} u_{pf}}$ ، ثم فرز (M-K) قيمة مميزة صغرى لمصفوفة الترابط، ثم فرز الأشعة المميزة للفضاء الجزئي للضجيج E_N .

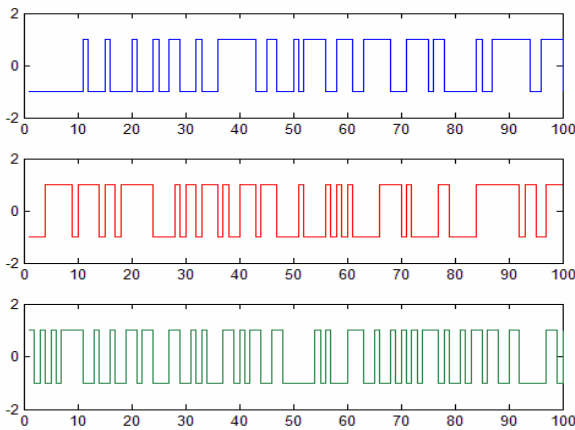
- حساب شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC Pseudo-spectrum of MUSIC algorithm P_{MU} عند كل مجال ترددي جزئي، ويعطى وفق العلاقة الآتية [12] [9]:

مترابطة، وذات استطاعات متساوية، ومتباينة في الموقع. يُشكّل شعاع الإشارات عن طريق قياس $N=100$ مركبة للإشارة المحيطة للهوائي وعند كل اتجاه من الاتجاهات الأساسية الثمانية، حيث تُستخدَم في حساب مصفوفة الترابط R_{uu} وفق العلاقة:

$$R_{uu} = \frac{1}{N} U U^H \quad (24)$$

6-1-1 دراسة شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC مع إشارات اتصال بتعديل إيفال ثنائي بالطور Binary Phase Shift Keying (BPSK)

تولّد ثلاث إشارات عشوائية ذات توزيع منتظم غير مترابطة تمثل غلاف إشارات افتراضية بتعديل BPSK مبيّنة في الشكل (7) متوضعة في الزوايا $(30, 120, 300)^\circ$ بالنسبة إلى لهوائي BB-ESPAR-8، ولها الاستطاعة نفسها. بفرض أن هذه الإشارات جميعها دورية ومتزامنة، وذات معدل إرسال Bit Rate مساوٍ ومتزامن مع زمن أخذ العينات N . بفرض أن الضجيج المرافق هو ضجيج أبيض، وغير مترابط مع الإشارات المحيطة وذو توزيع غوسي، وأن نسبة الإشارة إلى الضجيج $SNR=30$ dB. يمكن تمييز الحالتين الآتيتين:



الشكل (7) غلاف ثلاث إشارات غير مترابطة بتعديل BPSK

6-محاكاة باستخدام الطريقة المطورة لخوارزمية MUSIC لتقدير زوايا الورود باستخدام الهوائي BB-ESPAR-8

نُفذ برنامج المحاكاة باستخدام برمجيات MATLAB

وفق تسلسل العمليات المبيّنة في الكتلتين الرئيسيتين:

الكتلة الأولى: تقوم بتوليد نموذج للإشارات المحيطة المستقبلية وفق خصائص افتراضية أولية معينة تشمل عدد الإشارات المحيطة، واستطاعة كل منها، ونوع التعديل المستخدم فيها، وزاوية موضعها في محيط الهوائي، وتقوم بتشكيل أشعة الإشارات المستقبلية في الهوائي نتيجة دورانه.

الكتلة الثانية: تقوم بتنفيذ خوارزمية MUSIC بشكلها التقليدي لكل مجال ترددي جزئي وتقوم بتجميع النتائج النهائية.

أُجريت المحاكاة على مجموعة من الحالات الواقعية المختلفة شملت:

§ إشارات اتصال ضيقة المجال الترددي: دُرِسَ خلالها أثر نوع التعديل المستخدم وأثر نسبة الإشارة للضجيج SNR . وكذلك أثر التشويش غير المتجانس في دقة نتائج تقدير الاتجاه في هذه الخوارزمية.

§ إشارات اتصال عريضة المجال الترددي: دُرِسَ خلالها النوعان الرئيسيان التاليان: الأنظمة التي تستخدم الطيف المنثور والأنظمة التي تستخدم القفز الترددي، ودراسة أثر نسبة الإشارة للضجيج على دقة نتائج تقدير الاتجاه.

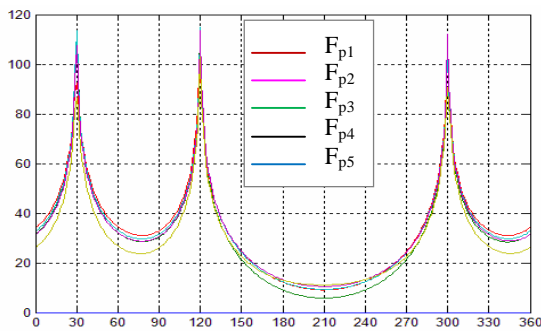
6-1 حالات إشارات اتصال ضيقة المجال الترددي:

أفترض وجود ثلاث إشارات محيطية، ضيقة المجال الترددي وتحقق الشروط العملية الآتية: الإشارات غير

إن شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC المبيّنة في الشكل (9) توضح أنه من أجل الإشارات بتعديل BPSK تعطي قمماً مكافئة لزوايا الورد الافتراضية بنسبة خطأ متغيرة تتعلق بتردد عمل هذه الإشارة ، أو بشكل شعاع توجيه الهوائي في المجال الترددي الجزئي المستخدم للحل، وتكون نسبة الخطأ أعظمية في الترددات الواقعة ضمن المجال الترددي الجزئي الأعلى للهوائي PF5.

ج- دراسة أثر نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR:

درُسَ هذا الأثر للحالة (ب) لأهمية التعامل مع إشارات على كامل عرض المجال الترددي للهوائي بافتراض المحافظة على الشروط الأولية السابقة، وتغيّر نسبة الإشارة إلى الضجيج وفق القيم الآتية: SNR=20, 10, 0 dB. تبين نتائج شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC في الأشكال (10) و(11) و(12) أن دقة تقدير زوايا الورد التي تعطيها هذه الخوارزمية تسوء مع تناقص نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR، ومع تغيّر تردد عمل الإشارات المستقبلية، ويوضح الشكل (10) أن الخطأ المركب في تقدير زوايا الورد عند SNR=20 dB هو نفسه تقريباً للترددات الجزئية جميعها ويساوي إلى 1° .



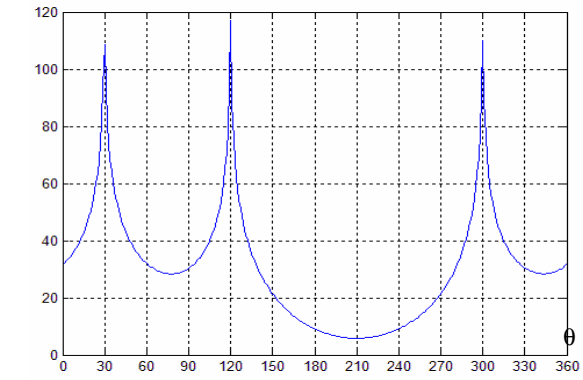
الشكل (10) شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC عند

نسبة إشارة للضجيج SNR=20 dB.

P_M

أ- الإشارات المستقبلية تعمل على تردد وحيد:

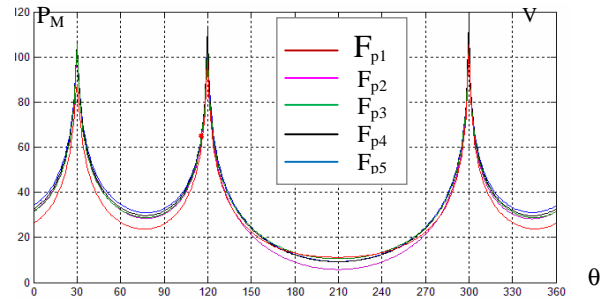
بفرض تحقق شروط الحالة الرئيسية، وتحقق شرط كون تردد الإشارات المحيطية تقع ضمن المجال الترددي الجزئي الأصغري الذي يعمل عليه الهوائي BB-ESPAR-8. يتضح من نتيجة شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC في هذه الحالة المبيّنة في الشكل (8)، أن هذا الهوائي يعمل على أي تردد وحيد ضمن مجال عمله الترددي، ويعطي نتائج مطابقة للنتائج التي يعطيها هوائي ESPAR التقليدي الذي يعمل على المجال الترددي نفسه [9] [5] [2].



الشكل (8) شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC لإشارات بتردد وحيد، عند الزوايا (30,120,300).

ب- الإشارات المستقبلية تعمل على ترددات مختلفة:

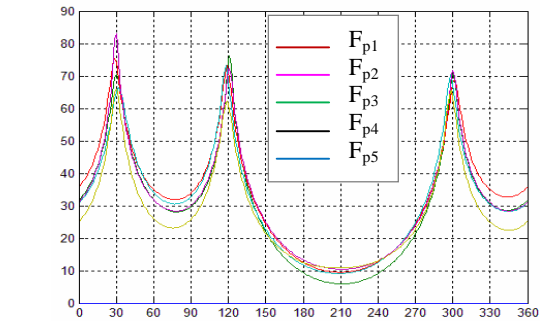
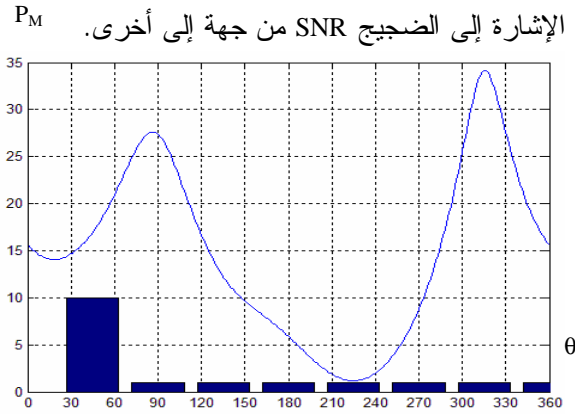
في هذه الحالة تم افتراض الشروط الأولية للحالة السابقة واختلفت في كون الإشارات المحيطية الثلاث تعمل على ترددات f1, f2, f3, f4, f5 مختلفة في المجالات الترددية الجزئية للهوائي.



الشكل (9) شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC لإشارات بترددات مختلفة تقع ضمن المجالات الجزئية

متوزعة في الزوايا $(30,120,300)^\circ$ ، متوزعة في الزوايا $Pf_1, Pf_2, Pf_3, Pf_4, Pf_5$

الثماني للهوائي BB-ESPAR-8، وبالنتيجة تتغير نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR من جهة إلى أخرى.

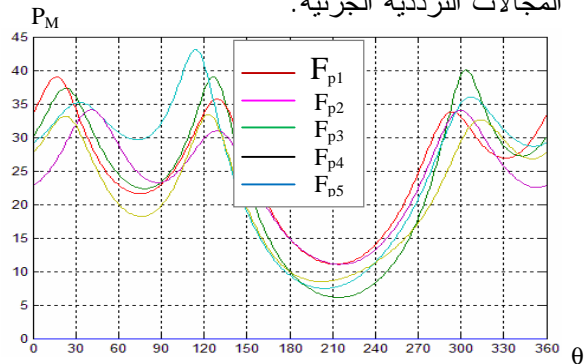


الشكل (11) شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC عند نسبة إشارة للضجيج SNR=10 dB.

بينما يصبح الخطأ المرتكب عند SNR=10 dB، والمبين في الشكل (11) مختلفاً من تردد جزئي إلى آخر ويكون الخطأ أعظماً ويصل إلى 3^0 في المجالات الترددية الجزئية العالية للهوائي. أما عند SNR=0 dB فإنه كما هو مبين في الشكل (12)، فالخطأ في التقدير يكون أكبر ويصل إلى 10^0 وتكون النتيجة غير مقبولة عند بعض المجالات الترددية الجزئية.

الشكل (13) شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC في حالة تشويش غير متجانس (الممثل بالشكل القلمي).

بفرض أن نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR=0 dB عند زاوية 45^0 فإن شبه الطيف الناتج من خوارزمية MUSIC المبين في الشكل (13) يعطي نتائج غير مقبولة خاصة في محيط زاوية التشويش الرئيسية.



الشكل (12) شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC عند نسبة إشارة للضجيج SNR=0 dB.

6-1-2 دراسة شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC مع إشارات ذات تردد حامل وحيد وبتعديل مطالي AM

يختلف التعديل المطالي عن التعديل BPSK في أن مطال إشارة الحامل يتغير كتابع لإشارة التعديل المستخدمة في الاتصال الممثلة على سبيل المثال بإشارة صوت تقع في المجال [400-4000]Hz، لهذا فالإشارات ذات التعديل المطالي هي إشارات غير ثابتة المطال تبعاً للاتجاهات الأساسية الثمانية للهوائي BB-ESPAR-8. من أجل هذه الحالة اقتُرحت طريقة جديدة لتجميع المعطيات وتشكيل أشعة الإشارات المستقبلية، وذلك من خلال إجراء دوران لإشعاع الهوائي 100 دورة كاملة، بتواتر يعطى بالعلاقة:

$$f_{rotation_{max}} \leq 100 \times 4000 \leq 400 \text{ KHz} \Rightarrow$$

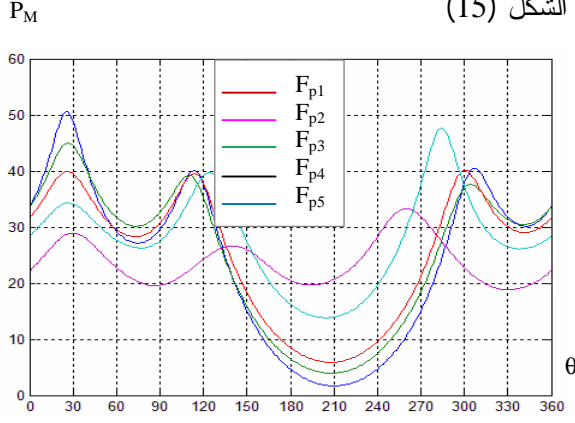
$$f_{sample_{max}} \leq 8 \times 400 \leq 3.2 \text{ MHz}$$

يقوم خلالها بقراءة 800 عينة، ويحقق وفق شرط أخذ العينات دقة جيدة في اعتبار العينات الثماني المأخوذة في

د- دراسة أثر التشويش غير المتجانس عند أحد المجالات الترددية الجزئية في الهوائي:

لدراسة أثر التشويش غير المتجانس في شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC. أُخذت الشروط الأولية السابقة، وأضيف منبع تشويش موجه في الزاوية 45^0 ، ومن ثم فاستطاعة الضجيج المحيط، الممثلة بالمخطط القلمي في الشكل (13)، تتغير مع تغير الجهات الأساسية

الحصول على نتائج غير مقبولة، كما هو مبين في الشكل (15)



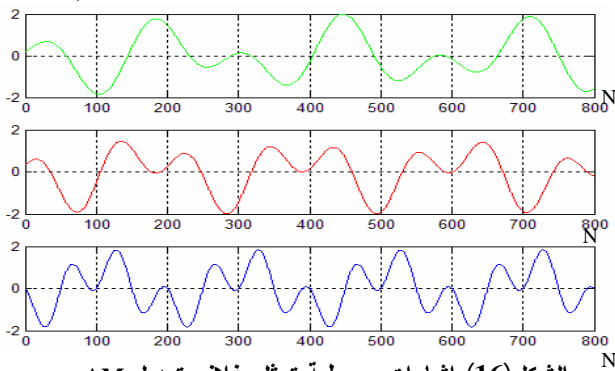
الشكل (15) شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC عند تردد مسح إشعاع سريع للهوائي

ب - حالة تردد مسح إشعاع متوسط للهوائي:

افترض نموذج ثلاث إشارات مختلفة، يقوم الهوائي بتدوير الإشعاع 100 دورة كاملة يأخذ خلالها $N=800$ عينة بزمن يكافئ عدة أدوار تكرارية من المركبة ذات الدور الأدنى للإشارات المحيطة. كما هو مبين في الشكل (16)، إذ يتضح أنه يتم تحصيل 300 عينة خلال دور تكراري واحد لأعلى تردد بين الإشارات الثلاث، وذلك بتردد تقطيع يعطى بالعلاقة:

$$fs_2 = 300 \times 4 \text{ KHz} = 1200 \text{ KHz}$$

ومن ثم فإنه $fs_2 < fs_{max}$



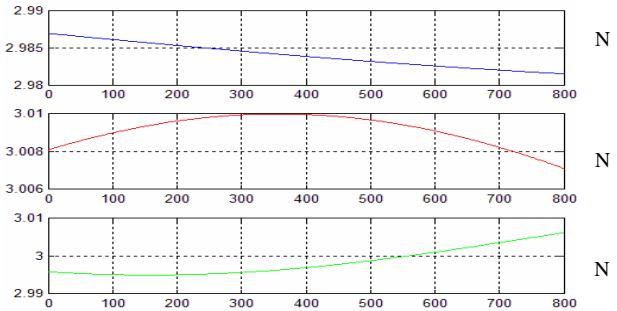
الشكل (16) إشارات محيطة تمثل غلاف تعديل AM.

كل دورة هوائي تتقارب إلى قيمة واحدة. تخزن عينات الإشارات المستقبلية ومن ثم تُستخدَم في تشكيل أشعة الإشارات المستقبلية $y(t)$. بعد ذلك تجرى عمليات حساب شبه الطيف لخرج خوارزمية MUSIC وفقاً للفقرة (4).

لدراسة خصائص هذه الطريقة في حل مسألة هذا النوع من الإشارات، ولدت ثلاث إشارات محيطية غير مترابطة، تتوضع عند الزوايا $(0, 30, 120, 300)$ ، ولها نفس الاستطاعة، ونسبة الإشارة إلى الضجيج نفسها $SNR=30$ dB، وتقع ضمن المجال الترددي الصوتي، ممثلة على شكل 800 عينة. تُؤخذ وفق الطريقة المقترحة. ودُرست الحالات الجزئية التالية وفق محدد سرعة مسح إشعاع الهوائي:

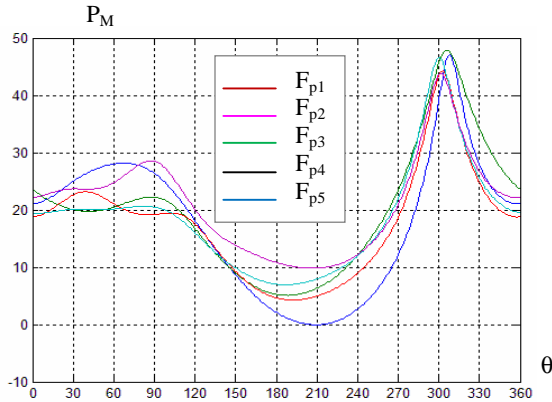
أ - حالة تردد مسح إشعاع سريع للهوائي:

افترض نموذج ثلاث إشارات مختلفة تقع في المجال الصوتي المنخفض. يقوم الهوائي بتدوير الإشعاع 100 دورة كاملة بتواتر سريع خلال زمن لا يتجاوز عُشر أقل دور تكراري في الإشارات الثلاث، يتم خلالها تحصيل $N=800$ عينة كما هو مبين في الشكل (14). ويكون في هذه $2 \times f_{max} < fs_{max}$. حيث f_{max} أعلى تردد للإشارات المعدلة



الشكل (14) إشارات تمثل غلاف تعديل AM. وتقع ضمن المجال الترددي المنخفض

800 عينة من كل إشارة متساوية القيمة تقريباً، ومن ثم فإن شرط تمايز الإشارات الثلاث خلال زمن المسح الكامل يصبح غير محقق بشكل مثالي، وهذا يؤدي إلى



الشكل (19) شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC عند تردد مسح إشعاع بطيء للهوائي.

إن استخدام تردد مسح بطيء يعطي 8 عينات مختلفة القيمة من كل إشارة من الإشارات المحيطية خلال الدورة الواحدة، مما يخل بشرط تحصيل عينات متقاربة القيمة خلال دورة مسح الهوائي الواحدة، كما هو مبين في الشكل (19). تعطي الطريقة المطورة نتائج جيدة بخطأ لا يتجاوز عن $\pm 4^\circ$ يتعلق بنسبة تطبيق الشروط السابقة.

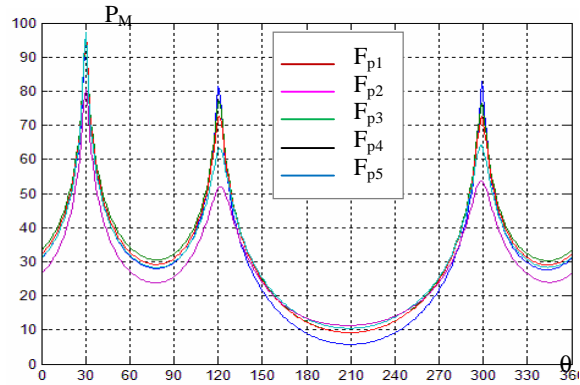
6-2 حالات إشارات اتصال عريضة المجال الترددي:

عند دراسة حالة كون الإشارات المحيطية تمثل إشارات اتصال عريضة المجال الترددي، فإنه وفي اللحظة نفسها لا يمكن التعامل وإجراء مزامنة إلا مع نظام واحد فقط لذلك تم افتراض وجود إشارة اتصال عريضة المجال الترددي متوضعة في الزاوية 65° تستخدم تقنية القفز الترددي ضمن مجال عمل الهوائي الترددي [500-700] MHz، وقد درست حالتان لسرعة القفز الترددي بالنسبة إلى دوران شعاع الهوائي:

6-2-1 حالة قفز ترددي بطيء:

يفترض في هذه الحالة أن إشارات الاتصال بطيئة القفز الترددي مقارنة بزمّن المسح الكلي لهوائي BB-ESPAR، ومن ثمّ فالإشارة تعمل على حزمة ترددية جزئية واحدة خلال دورة مسح الهوائي.

تبيّن نتيجة حساب شبه الطيف لخوارزمية MUSIC المنفذة وفق الطريقة المقترحة في الشكل (17)، وذلك في كافة المجالات الترددية الجزئية للهوائي، أنها تعطي دقة تقدير زاوية الورود جيدة وبخطأ أعظمي 4° .



الشكل (17) شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC عند

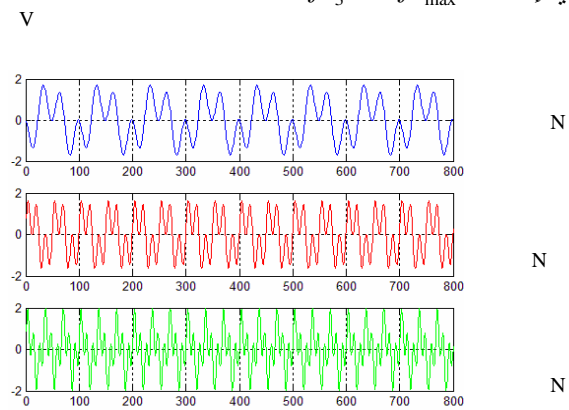
تردد مسح إشعاع متوسط للهوائي

ج- حالة تردد مسح إشعاع بطيء للهوائي:

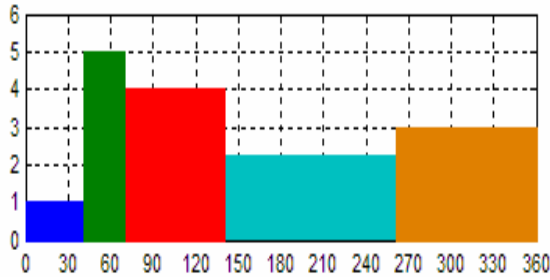
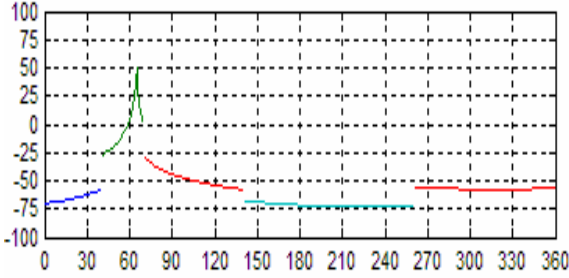
افتترضت حالة لثلاث إشارات في المجال الترددي الصوتي مختلفة تمثل 800 عينة يقوم الهوائي بمسح 100 دورة بشكل بطيء. كما هو مبين في الشكل (18) يتم تحصيل 100 عينة لأعلى تردد بين الإشارات الثلاث و يعطى تردد التقطيع في هذه الحالة بالشكل

$$fs_3 = 100 \times 4 \text{ KHz} = 400 \text{ KHz}$$

أي إنه: $fs_3 \ll fs_{\max}$



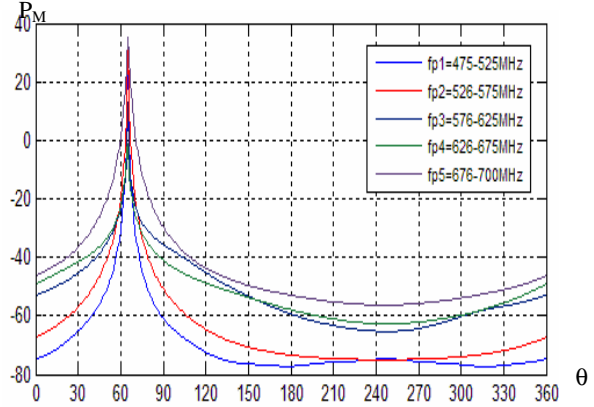
الشكل (18) إشارات محيطية تمثل غلاف تعديل AM.



الشكل (21)

- (أ) - شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC لإشارة تعمل بتقنية القفز الترددي السريع .
 (ب) - المجالات الترددية الجزئية المكافئة للقفزات الترددية

يبين الشكل (20) نتائج احتمالات تردد عمل الإشارة ضمن إحدى الحزم الترددية الجزئية الخمس، في حساب شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC التي تبين وجود قمة واحدة مكافئة لزاوية ورود الإشارة المفترضة في شرط الاختبار وهي 65° .



الشكل (20) تغيرات شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC الموافقة لاحتمالات قفز تردد عمل الإشارة

6-2-2 حالة قفز ترددي سريع:

الإشارة تعمل على مجموعة ترددات مختلفة تشمل كامل المجال الترددي للهوائي خلال دورة المسح الواحدة. يبين الشكل (21) أن الخرج شبه الطيفي لخوارزمية MUSIC في هذه الحالة هو شبه طيف منقطع عند لحظة القفز الترددي ويبين أيضاً أنه خلال دورة المسح الواحدة نُفِّدَت خمس قفزات ترددية، وأن القمة التي تعطيها هذه الخوارزمية مطابقة للحالة الافتراضية لزاوية الورد، وعلى الرغم من ظاهرة التقطع، فإن الخوارزمية تعطي نتائج جيدة ومكافئة للقيم المفترضة لزاويا ورود الإشارات الافتراضية.

6-2-3 حالة اتصال تستخدم تقنية الطيف المنتثر: بفرض أن الإشارة المحيطة لها استطاعة الإشارة نفسها في الحالة السابقة ولها أيضاً نسبة إشارة إلى الضجيج $SNR=30dB$ ، وتستخدم تقنية الطيف المنتثر بشكل متساوي الاحتمالية على كامل المجال الترددي للهوائي BB-ESPAR-8، عندها يمكن استخدام المخطط الإشعاعي الوسطي لكافة المخططات الإشعاعية الجزئية للهوائي.

أعظمية (أفضل من 2°) في المجال الترددي المنخفض للهوائي والدقة الدنيا (أفضل من 5°) في المجال الترددي الجزئي العالي للهوائي BB-ESPAR-8.

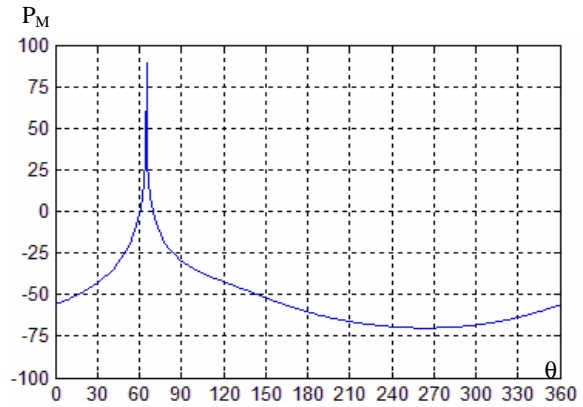
- في حالة كون الإشارات المحيطة ضيقة المجال الترددي، وبتعديل مطالي، فإنه ولكي تعطي هذه الطريقة نتائج تقدير جيدة تصل إلى 4° ، يجب اختيار سرعة مسح إشعاع الهوائي بحيث يحقق $1 > N > 10$ من أدوار الإشارات خلال زمن دوران الهوائي.

- في حالة كون الإشارات المحيطة هي إشارات الاتصالات عريضة المجال الترددي تستخدم تقنية القفز الترددي أو تستخدم تقنية الطيف المنتور، فإن الخوارزمية المطورة تعطي نتائج ذات دقة جيدة أفضل من 20° .

- تتأثر دقة نتائج هذه الخوارزمية باختلاف نسبة الإشارة إلى الضجيج، وتتناقص هذه الدقة مع تناقص نسبة SNR. و تصبح غير مقبولة عندما تصبح نسبة الإشارة إلى الضجيج $SNR \leq 0$ dB.

- في حالة تعرض نظام الهوائي BB-ESPAR-8 لمشوش مكاني من زاوية محيطة معينة فإنه يؤثر في دقة نتائج هذه الخوارزمية في محيط هذه الزاوية بحسب استطاعة مصدر التشويش.

- أظهرت نتائج هذه الطريقة بأنها طريقة مناسبة للعمل مع نظم الاتصالات الحديثة كلها التي تعمل إشاراتها على مجال ترددي عريض وباستخدام الهوائي BB-ESPAR-8.



الشكل (22) شبه الطيف لخرج الخوارزمية MUSIC لإشارة تعمل بتقنية الطيف المنتور

تبيّن النتيجة الموضّحة في الشكل (22) أن الدقة التي تعطيها هذه الخوارزمية في هذه الحالة أفضل من حالة القفز الترددي .

7- الاستنتاجات

من خلال دراسة نتائج المحاكاة لتقدير الاتجاه لمجموعة من إشارات الاتصال، باستخدام خوارزمية MUSIC المطورة والعمل مع الهوائي BB-ESPAR-8 تبيّن ما يأتي:

- إن النتائج التي تعطيها هذه الطريقة المطورة تكافئ تلك التي تؤمنها خوارزمية MUSIC التقليدية، من حيث دقة تقدير زوايا الورود، والقدرة على التمييز بين إشارتين متقاربتين، وعدد الإشارات الأعظمي K الذي يمكن كشفه الذي يعطى بالعلاقة $K=M-1$ إذ $M=8$ عدد المشعات الطفيلية في الهوائي، وذلك في مجال ترددي عريض.

- في حالة كون الإشارات المحيطة ضيقة المجال الترددي وبتعديل BPSK، وتعمل على ترددات عمل مختلفة ضمن مجال ترددي عريض، فإن خوارزمية MUSIC المطورة تعطي نتائج جيدة، وذات دقة مختلفة باختلاف تردد عمل الإشارة المحيطة، وتكون الدقة

المراجع:

- 11- Sheng-Yun Hou, Shun-Hsyung Chang, Hsien-Sen Hung, and Jiang-Yao Chen. DSP-Based Implementation Of A Real-Time DoA Estimator For Underwater Acoustic Sources. Journal of Marine Science and Technology. 2009.
- 12- Eddy Taillefer, Cyril Plapous, Jun Cheng, Kyoichi Iigusa and Takashi Ohira. Reactance-Domain MUSIC for ESPAR Antennas. IEEE Transactions On Antennas And Propagation. 2003.
- 1- Bashir ALSHAMI, Hassan ABOULNOUR, Mohamad DIB. Implementation and field test of a Broadband ESPAR Antenna. Proc.IEEE Meditarian Microwave Simposiom MMS 2010.
- 2- Bashir ALSHAMI, Hassan ABOUNOUR, Mouhammad DIB. Design of a BroadBand ESPAR Antenna. Proc.IEEE Meditarian Microwave Simposiom MMS. 2009.
- 3- Karmakar, Chen Sun & Nemaï Chandra. Direction of Arrival Esimtiation. Internatioal Journal of Signal Procesiing Volume 1. 2004.
- 4- Karmakar, Chen Sun and Nemaï Chandra. Direction Of Arrival Estimation Based On A Single Port Smart Antenna Using MUSIC Algorithm With Periodic Signals. International Journal Of Signal Processing Volume 1 Number 2. 2004.
- 5- Chandran, Sathish. advance in direction-of-arrival estimation. artech house. 2006.
- 6- Kenichi IKEDA, JunNAGAI Takahiro FUJITA and Yoshi o YAMAGUCHI. DOA Estimation By Using Music Algorithm With A 9-Elements Rectangular Espar Antenna. "Keihanna Science City" Kyoto,JAPAN : Faculty of Engineering, Niigata University ATR Adaptive Communications Research Laboratories, 2008.
- 7- Chen Sun, Akifumi Hirata,Ohira and Nemaï C. Karmakar. Fast Beamforming of Electronically Steerable Parasitic Array Radiator Antennas: Theory and Experiment. IEEE Transactions On Antennas And Propagation. 2004.
- 8- Bashir ALSHAMI, Hassan ABOUNOUR, Mouhammad DIB. Development and Evaluation of Broadband Electricly Steerable antenna by using eight Parasitic Array Radiators. Damascus. Syria: Journal of University of Damascus, 2011.
- 9- Chen Sun, Jun Cheng, Takashi Ohira. Handbook on Advancements in Smart Antenna technologies For Wireless Networks. New York: Information Science Reference, 2011
- 10- A.Balanis, C. Antenna theory Analysis and Design. New York: Harper & Row, 1982.