

## دراسة مقارنة لخوارزميات تموضع العقد في شبكات الحساسات اللاسلكية

الدكتور مثنى القبيلي\*

(تاريخ الإيداع 14 / 6 / 2015. قُبل للنشر في 9 / 9 / 2015)

### □ ملخص □

غالباً ما يتم نشر شبكات الحساسات اللاسلكية بشكل عشوائي باستخدام طائرة على سبيل المثال، لذا لا يمكن الحصول على مواقع غالبية هذه العقد بشكل مسبق. لذلك، سينتج لدينا ما يسمى مشكلة تحديد الموقع، أي كيف يتم الحصول على معلومات موقع العقد المجهولة، ويعد هذا الموضوع من أهم مواضيع هذه الشبكات. لا يمكن لشبكات الحساسات اللاسلكية أن تعمل بشكل صحيح دون معلومات الموقع. يعد نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) نظام تحديد المواقع الأكثر استخداماً ونضجاً في الوقت الحاضر. ولكن لأن العقد عادة ما يكون عيبتها هو ارتفاع نفقاتها، وحجمها الكبير، وارتفاع تكلفتها، كما أنها تتطلب بناء قاعدياً خاصاً بالـ GPS، لذا فإن GPS غير قابل للتطبيق في هذه الشبكات التي هي بطبيعتها ذاتية التكوين منخفضة التكلفة، وكذلك فإنه من المستحيل أن يتم تثبيت GPS لكل عقدة حساس. سندرس في هذه البحث آليات تحديد الموقع غير المعتمدة على GPS والمستخدم في شبكات الحساسات اللاسلكية، وسيتم اختبار فعالية استخدام خوارزمية ميوزيك MUSIC في تحديد زوايا ورود الإشارة اعتماداً على تكنولوجيا SDMA وهوائي ESPAR.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات الحساسات اللاسلكية، مشكلة تحديد الموقع، نظام تحديد الموقع العالمي، تخمين المسافة، خوارزمية ميوزيك.

\* مدرس، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية سورية.

## A comparative Study of Node Localization Algorithms in Wireless Sensor Networks

Dr. Mothanna Alkubaily \*

(Received 14 / 6 / 2015. Accepted 9 / 9 / 2015)

### □ ABSTRACT □

Wireless sensor networks (WSNs) are often deployed by random bestrewing (airplane bestrewing for example). A majority of nodes cannot obtain their coordinate beforehand. Therefore, how to obtain the position information of unknown nodes, which is called localization problem, has become a hot topic in WSN.

Without position information, WSN cannot work properly. Global Position System (GPS) is the most extensive and mature position system at present. But because the nodes usually have the shortcoming of high expenditure, large volume, high cost and require settled basal establishment, therefore, the GPS is inapplicable for the low-cost self-configure sensor networks, and also it is impossible to install GPS for each sensor node. In this paper, we will study localization mechanisms (which is not based on GPS) used in WSN, and will test the effectiveness of using MUSIC algorithm in determining the signal arrival angel depending on the SDMA- technology and ESPAR antenna.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Localization Problem, Global Position System, Distance Estimation, MUSIC Algorithm.

---

\* Assistant Professor, Departement of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة:

تتكون شبكات الحساسات اللاسلكية [1] من مئات أو آلاف الأجهزة صغيرة الحجم تدعى الحساسات، خاضعة لقيود تفرضاها الذاكرة والطاقة وسعة المعالجة المحدودة، تمتاز بدمجها لقطبين أساسيين هما الأنظمة الالكترونية والاتصالات اللاسلكية فهي عبارة عن مجموعة من الحساسات التي تستخدم في نقل أو متابعة ظاهرة فيزيائية أو كيميائية محددة (كالحرارة، والرطوبة، والضوء،...). تعتمد فكرتها الأساسية على نشر آلاف الحساسات في بيئة ما، وتنظيم تبادل الرسائل اللاسلكية فيما بينها ونقلها إلى مركز معالجة البيانات لتحليلها والاستفادة منها، دون الحاجة لتواجد الإنسان في مكان وجود الظاهرة. حيث يتوقع أن تحل هذه الشبكات مشاكل المراقبة والإغاثة في حالات الكوارث وتتبع المرضى والأغراض العسكرية والمستودعات المؤتمنة والمنازل الذكية... الخ. تعد معرفة الموقع في هذه التطبيقات مفيدة جداً وضرورية، لأن جمع المعلومات دون معرفة موقع عقدة الحساس عديم النفع. ويمكن أن ينفذ تحديد الموقع بعدة طرق [2-4]: مثل تزويد كل حساس بمستقبل GPS بحيث يعطي الموقع الدقيق لكل عقدة حساس، ولكن إضافته لكل عقدة غير عملي لاعتبارات عديدة كالتكلفة المرتفعة واستهلاك الطاقة والقيود التي تفرضها البيئة، ويضاف إلى ذلك فشله في البيئات الداخلية والغابات الكثيفة وتحت الأرض. لذا فإن أفضل الحلول هو التحديد الذاتي للموقع، حيث تقدر كل عقدة حساس موقعها باستخدام بروتوكولات اكتشاف الموقع. تتشارك هذه البروتوكولات بسمات عديدة فمعظمها يستخدم عقداً خاصة تدعى عقد المنارة (beacon nodes) ومن المفترض أن نعرف موقع هذه العقد (بإعدادات يدوية أو باستخدام مستقبلات GPS) وتعرف هذه العقد بـ (العقد المركزية، أو المرجعيات، أو العقدة المرساة) فهي التي تزودنا بمعلومات الموقع وبشكل رسائل البث وتعطي أهمية للعقد الأخرى المعروفة بـ (العقد العمياء، أو الصامتة، أو المجهولة) لأن الأخيرة تعتمد في تحديد موقعها على معلومات مواقع النقاط المجاورة.

يعد تحديد الموقع في شبكات الحساسات اللاسلكية من الأمور الهامة التي جذبت اهتمام الباحثين في هذا المجال، يأتي هذا الاهتمام جزاءً النمو السريع في تقنيات الشبكات اللاسلكية وتقنيات الحساسات، وكذلك الانتشار الكبير لتطبيقات شبكات الحساسات اللاسلكية. تأتي أهمية معرفة مواقع العقد من اعتماد معظم وظائف الشبكة على مواقع العقد مثل: التوجيه، والاتصال، وتشكيل العناقيد، وتغطية الشبكة إضافةً إلى تتبع الأهداف.

## أهمية البحث و أهدافه:

يعد التوضع في شبكات الحساسات اللاسلكية من أهم الأبحاث التي تم التطرق إليها في العديد من الدراسات المرجعية الهادفة إلى معرفة التوضع النسبي أو الدقيق للحساسات المنشورة ضمن البيئة المدروسة. يهدف هذا البحث إلى دراسة آليات تحديد الموقع غير المعتمدة على GPS والمستخدم في شبكات الحساسات اللاسلكية، واختبار فعالية استخدام خوارزمية MUSIC في تحديد زوايا ورود الإشارة اعتماداً على تكنولوجيا SDMA وهوائي ESPAR باستخدام المحاكاة الحاسوبية، وتمت المقارنة والتقييم على أساس:

- الدقة في رسم المخطط العام لتوزيع الحساسات في البيئة المدروسة.
- أقل كمية معطيات تحكمية متبادلة بين الحساسات، وبالتالي أقل زمن يمكن أن تأخذه الشبكة في تحديد مخطط التوضع.

يتم في أغلب التطبيقات نشر الحساسات بشكل عشوائي في المنطقة المدروسة، لذا فمن المهم معرفة مواقع هذه الحساسات دون الاعتماد على تقنية الـ GPS. يتم دمج الخوارزميات المستخدمة لقياس أبعاد الحساسات عن بعضها مع خوارزميات التموضع للحصول على التموضع التقريبي المطلوب للحساس. ويمكن الحصول على التموضع الدقيق لاحقاً بمعرفة التموضع الدقيق لأحد الحساسات ويفضل أن تكون العقدة المرجعية.

### طرائق البحث ومواده:

فرض التطور المستمر الذي يشهده عالم شبكات الحساسات اللاسلكية وتطبيقاته، تطوراً موازياً لبرامج المحاكاة والتصميم التي تساعد في تقييم أداء هذه الشبكات. إضافةً إلى الخصوصية العالية التي تتطلبها هذه الشبكات من المحاكاة مثل متطلبات الأمن وسماحية التعطل، ومتطلبات جودة الخدمة، وبروتوكولات التوجيه. فكان من أهم برامج المحاكاة التي يمكن استخدامها OMNET++، NS-2، MATLAB، وغيرها.. تم في هذا البحث اعتماد برنامج MATLAB [5] الذي يعتمد على لغة برمجية عالية المستوى ويتمتع بمميزات وإمكانيات عالية جعلته الأنسب في محاكاة شبكتنا.

#### 1. أهمية تحديد الموقع في شبكات الحساسات اللاسلكية

تفقد البيانات التي تقدمها عقد الحساس الكثير من أهميتها عندما تخلو من المعلومات الخاصة بالموقع، لأن غياب تحديد الموقع قد يؤدي إلى تفسير خاطئ للبيانات؛ وبسبب القيود البيئية يكون من الصعب أن نضع العقد في أماكن محددة بشكل دقيق، لذا فقد تخضع هذه العقد للنشر العشوائي [4]. اقترحت العديد من الحلول [6] التي امتلكت قدرات متفاوتة ومتناسبة مع التطبيقات لتحديد الموقع. حققت النظم الحالية، والتي تعد جيدة للكثير من التطبيقات، دقة تصل إلى حوالي 0.5 متر. ولكن من أجل تطبيقات أخرى كان لابد من تحسين مثل هذه الأنظمة، فكانت المشكلة هي إنشاء نظام قادر على تحديد الموقع مع نسبة خطأ صغيرة. قد يكون النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) خياراً جيداً، حيث يؤمن دقة مقبولة، ولكن ليس من الممكن تزويد كل عقدة بهذه الخدمة لعدة أسباب منها الكلفة العالية، وصعوبة استخدامها بسبب العوائق كالأبنية العالية وتضاريس الأرض والغابات الكثيفة، وفقدان التحكم بسبب تغطية القمر الصناعي السيئة أو قد تقوم الدول المسؤولة عن القمر الصناعي بإغلاقه فجأة، إضافةً إلى الحاجة إلى طاقة بطارية عالية، ودقة النظام التي تصل إلى عدة أمتار (1-3م) والتي تحتاج خط نظر بين المرسل والمستقبل، لذلك كان من الضروري استخدام خوارزميات تحديد الموقع.

يعرف تحديد الموقع [7] بأنه الجمع أو التكامل بين معلومات تخمين المسافة وتقدير الموقع ورسم الخرائط، ويعتد أحد العناصر الرئيسية في شبكات الحساسات اللاسلكية. تشترك معظم خوارزميات تحديد الموقع في شبكات الحساسات اللاسلكية بثلاثة مراحل أساسية هي:

أ. تخمين المسافة (Distance Estimation): تتضمن هذه المرحلة استخدام تقنيات قياس لتقدير المسافة

النسبية بين العقد.

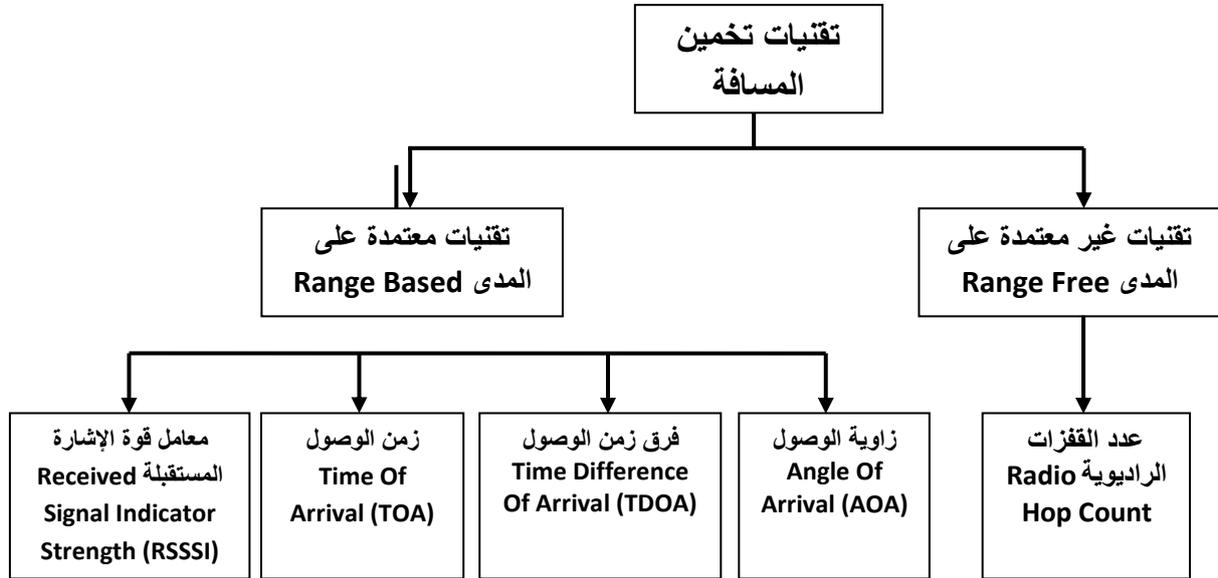
ب. حساب الموقع (Position Computation): تتضمن هذه المرحلة التقدير النسبي لموقع العقد (موقع العقدة

بالنسبة لعقدة أخرى محددة الموقع).

III. خوارزمية التموضع (Localization Algorithm): في هذه المرحلة يتم ربط معلومات المسافة والموقع لتخفيض الأخطاء وتحديد موقع العقدة بدقة ليتم في النهاية التمثيل الكامل للشبكة.

## 2. تقنيات تخمين المسافة:

يمكن تصنيف تقنيات تخمين المسافة إلى صنفين أساسيين كما هو موضح في الشكل (1).



الشكل (1): تصنيف تقنيات تخمين المسافة [6].

## 1.2 التقنيات المعتمدة على المدى:

### 1.1.2 معامل قوة الإشارة المستقبلية (RSSI) Received Signal Strength Indicator (RSSI):

تعد تقنية RSSI [8] الأرخص والأسهل بين التقنيات التي تعتمد على المسافة، ولا تتطلب أجهزة إضافية، ولكن تتأثر الإشارة المستقبلية في البيئات الحقيقية إلى حد كبير بالضجيج. إضافة إلى وجود العقبات، فهي تتأثر بمشكلة تعدد المسارات الناتجة عن الانعكاسات المتتالية للإشارة، كما تحتاج إلى أجهزة استقبال ذات حساسية عالية وتكلفة مرتفعة. وتتطلب مساحاً مسبقاً للموقع، وتحديد مستويات الإشارة في عدة نقاط من منطقة التغطية. كل ذلك يمثل تحديات لاستخدام هذه التقنية.

تناسب قوة الإشارة الراديوية المستقبلية عكساً مع مربع المسافة بين المرسل والمستقبل، ولذا يمكن تحويل شدة الإشارة المستقبلية إلى معلومات مسافة. تعطى العلاقة بين المسافة  $d$  وقوة الإشارة المستقبلية  $P_{rcvd}$  بالعلاقة:

$$P_{rcvd} = c \frac{P_{tx}}{d^\alpha} \Leftrightarrow d = \sqrt[\alpha]{\frac{c P_{tx}}{P_{rcvd}}} \quad (1)$$

حيث:  $P_{rcvd}$  استطاعة الإشارة المستقبلية.

$c$  سرعة الضوء في الخلاء.

$P_{tx}$  استطاعة الإشارة المرسلة.

$d$  طول المسار .

$\alpha$  معامل خسارة المسار .

### 2.1.2 زمن الوصول (TOA) :Time Of Arrival

تقدر المسافة بين العقد اعتماداً على زمن انتشار الإشارة، حيث تتناسب المسافة بين عقدتين طردياً مع الزمن اللازم لانتشار الإشارة من العقدة الأولى إلى الثانية كما في المعادلة (2) [9]:

$$d = v_s * t \quad (2)$$

حيث:  $d$  المسافة بين العقدتين.

$v_s$  سرعة انتشار الإشارة.

$t$  زمن انتشار الإشارة.

لا تستخدم هذه الطريقة عادةً لأنها تتطلب التزامناً دقيقاً بين المرسل والمستقبل، وهذا يتطلب كلفة وتعقيداً إضافيين لعقدة الحساس.

### 3.1.2 فرق زمن الوصول (TDOA) :Time Difference Of Arrival

تعد هذه الطريقة تطويراً لتقنية TOA [9]، حيث تقوم العقدة بإرسال إشارتين مختلفتين (راديوية وصوتية) إلى جيرانها؛ ويتم حساب المسافة اعتماداً على اختلاف زمن انتشار الإشارات الراديوية والصوتية من نفس النقطة ومعرفة سرعة انتشار كل إشارة. تحسب العقدة الفرق بين زمن وصول كلتا الإشارتين ومنه يمكن استنتاج المسافة باستخدام المعادلة (3):

$$d = v_{sound} * (t_{sound} - t_{radio}) = v_{sound} * \Delta t \quad (3)$$

حيث:  $d$  المسافة بين العقدتين.

$v_{sound}$  سرعة انتشار الصوت في الفراغ.

$t_{sound}$  زمن انتشار الإشارة الصوتية.

$t_{radio}$  زمن انتشار الإشارة الراديوية.

$\Delta t$  الفارق الزمني بين الإشارتين.

### 4.1.2 زاوية الوصول (AOA) :Angle Of Arrival

يمكن قياس الزوايا عوضاً عن قياس المسافات بين العقد [10] وتسمى أيضاً بخوارزمية اتجاه الوصول Direction of Arrival (DOA). يمكن أن تكون الزاوية ملتقى الخط الذي يربط عقدة مرساة بحساس وبين اتجاه مرجعي (اتجاه الشمال مثلاً)، كما يمكن أن يكون بين خطين كلاً منهما يربط مرساة بحساس. الوسيلة المعتادة لقياس الزوايا هي استعمال هوائيات موجهة - لا ترسل أو تستقبل إلا من جهة واحدة - تدور على محورها. هناك طريقة أخرى تكمن في استغلال السرعة المحدودة لانتشار الموجات؛ فعند استعمال عدة هوائيات مركبة على جهاز تفصل بينها مسافات معلومة، يمكن حساب الجهة التي أتت منها الموجة بعد قياس الفرق بين أوقات وصولها إلى كل واحد من الهوائيات، وكلما كانت المسافات بين هذه الهوائيات أقصر كلما استلزم ذلك أن يكون قياس فرق الوصول أدق. وتعطى علاقة زاوية الوصول بالمعادلة الآتية:

$$\Delta_t = \delta / (v * \cos \theta) \quad (4)$$

حيث:  $\theta$  زاوية الوصول.

$v$  سرعة انتشار الموجة.

$\delta$  معامل فصل الهوائي.

$\Delta t$  الفرق الزمني بين وصول الإشارات.

### 2.2 التقنيات غير المعتمدة على المدى:

تدعى في بعض المراجع بالخوارزميات متعددة القفزات الراديوية (Radio Hop Count RHC) [11]. يعتمد المبدأ الأساسي لعملها على أنه إذا تمكنت عقدتان من الاتصال، فإن المسافة بينهما، وباحتمال كبير، ستكون أصغر من مدى إرسالهما الأعظمي المحدود بمسافة معينة  $R$ . تعتمد دقتها بشكل كبير على كثافة العقد، وعدد العقد المتوضعة في مواقع معروفة وعلى هيكلية الشبكة. هذه التقنيات مناسبة للتطبيقات التي لا تكون فيها دقة الموقع حرجة وتمتاز بالبساطة والتكلفة المنخفضة.

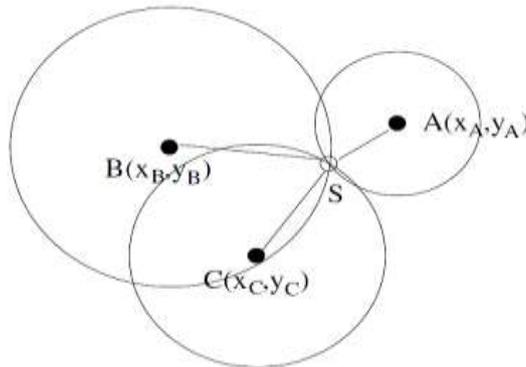
### 3. تقنيات حساب الموقع (Position Computation Techniques):

تستخدم هذه التقنيات للربط بين المعلومات بهدف حساب موقع عقدة ما وسندرس تالياً بعض التقنيات المعروفة.

#### 1.3 تقنية المسح النقطي Lateration:

تستخدم هذه التقنية [12] لحساب موقع عقدة ما في الشبكة اعتماداً على قياسات دقيقة مع ثلاث عقد مرصاة مجاورة لها، وعند استخدامها مع فضاء ثلاثي الأبعاد تحتاج إلى أربع عقد مرصاة. تدعى هذه التقنية عندما تستخدم ثلاثة عقد مرصاة بالمسح ثلاثي النقاط (الشكل 2). وعند استخدام أكثر من ثلاث عقد مرصاة تدعى بالمسح متعدد النقاط Multilateration والتي تعد الحل الأساسي المطبق في شبكات WSNs لتحديد الموقع، يتم تحديد موقع العقدة عن طريق تقاطع ثلاث دوائر مراكزها ثلاث عقد مرصاة مجاورة لها، ونصف القطر هو المسافة من عقد المرصاة إلى العقدة المطلوبة.

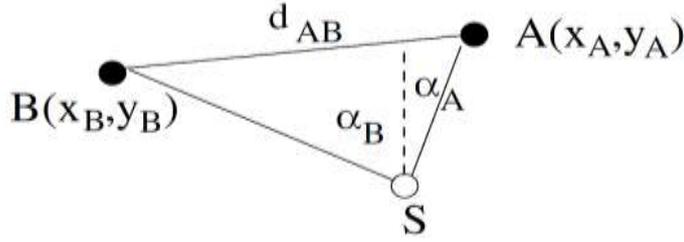
من سيئاتها قد تكون معلومات الموقع والمسافة غير دقيقة وهذا قد يجعل الدوائر الثلاث لا تتقاطع.



الشكل(2): تقنية المسح ثلاثي النقاط لحساب المسافة بين العقد

#### 2.3 تقنية التثليث المساحي Triangulation:

يعد التثليث [13] من الطرق الشائعة لحساب موقع عقدة ما اعتماداً على المعلومات الزاوية بدلاً من المسافة (الشكل 3). تقدر العقدة في شبكات WSN الزوايا الكائنة بينها وبين عقدتي مرصاة على الأقل، ثم تطبق قوانين المتثلثات لحساب موقعها. واستناداً إلى تقنية زاوية الوصول AOA يمكن تقدير المسافة بين العقدة والمرصاة.



الشكل(3): تقنية التثليث المساحي لحساب المسافة بين العقد

### 3.3 تقنية التموضع بمطابقة الأنماط Pattern Matching Localization:

تدعى أيضاً بالخوارزمية المعتمدة على الخريطة أو البصمة [13] Finger print Algorithm وتتضمن طورتين

اثنتين :

• الطور الأول (offline): تسجل بارامترات الإشارات المستقبلية من العقد في قاعدة بيانات تدعى بالخريطة

الراديوية.

• الطور الثاني(online): تعمل فيه الحساسات ويتم حساب الخريطة.

تستخدم خوارزميات مطابقة الأنماط لتقدير موقع العقدة المجهولة من خلال مطابقة مواصفات الإشارة الملتقطة مع القيم مسبقاً المسجلة على الخريطة. لكن تعاني هذه الطريقة من تأثير تقلبات الجو لأنها تكون قد سجلت بارامترات الإشارة في الطور الأول فتكون بحاجة لإعادة تنفيذ الطور الأول من جديد في الجو الجديد.

### 4. خوارزميات تحديد الموقع (التموضع) Localization Algorithms:

تفرض هذه الحالة وجود شبكة حساسات لاسلكية تحوي على مجموعات كل منها تحتوي على عقدة غير معلومة الموضع وعدد من العقد المرجعية معلومة المواضع حولها إذا أمكن تحقيق ذلك. وسندرس تالياً أهم هذه الخوارزميات.

#### 1.4 خوارزمية MDS (Range-Free Anchor-Free Methods)

تشكل كل عقدة في هذه الخوارزمية [14] خريطة محلية لتوزع العقد الموجودة على بعد قفرتين منها اعتماداً على عمليات الاتصال الرئيسية التي تجري بينها. تتواصل بعد ذلك كل الحساسات في الشبكة مع بعضها لتجمع هذه الخرائط المحلية ولتشكل في النهاية الشكل النهائي للتموضع العام للشبكة.

#### 4. 2 خوارزمية LPD(Local Position Discovery)

الهدف من هذه الخوارزمية [15] هو بناء مخطط محلي لأماكن توضع الحساسات (خريطة محلية) ضمن كل عنقود (cluster) وذلك انطلاقاً من عقدة البوابة في كل عنقود.

#### 3.4 خوارزمية LLSIWSN Algorithms

تقوم على مجموعة من الخطوات تتلخص كما يلي [16]:

- 1- الحساسات عند بداية إلقائها تكون مطفاة وبعد إلقائها لن تقوم بتغيير مكانها.
- 2- عدد الحساسات في الشبكة كبير، ويتم تقسيم الشبكة إلى مجموعات تحوي عدداً متساوياً من الحساسات لمنع الحوادث والملايسات، لذا تتم عملية التقسيم والتوزيع وتحديد الأماكن قبل عمل الحساسات وتزويدها بعقدة بداية الإحداثيات الخاصة بها والتي تسمى عقدة التنسيق (coordinator node).

#### 4.4 خوارزمية SPA (Self Position Algorithms)

تعتمد هذه الخوارزمية على مجموعة من الخطوات هي [16]:

- 1- إيجاد المواضع التقريبية للحساسات باستخدام خوارزميات حساب المسافات بين العقد.
- 2- يقوم كل حساس بإنشاء خريطة محلية لتوزيع الحساسات من حوله.
- 3- يخمن كل حساس تموضع الحساسات المجاورة له والتي تقع على بعد قفزة واحدة منه باستخدام قواعد فيثاغورث في المثلثات، ومن ثم ينشر هذه المعلومات لكل الحساسات في الشبكة لبناء مخطط موسع للشبكة بأكملها. من سيئاتها: الحاجة إلى عدد كبير من الاتصالات بين الحساسات لبناء المخطط العام للشبكة إضافة للدقة المحدودة.

##### 5. تحسين تقنيات تخمين المسافة في شبكات الحساسات اللاسلكية:

بهدف تحسين تقنيات تخمين المسافة في شبكات الحساسات اللاسلكية تم استخدام أنظمة الهوائيات الذكية، والتي تعرف بأنها تتكون من العديد من عناصر الهوائيات مع إمكانية معالجة الإشارة وذلك لتحسين المخطط الإشعاعي بشكل أوتوماتيكي بما يتناسب مع متغيرات البيئة [17]. يتحدد ذكاء الهوائي في الخوارزميات المستخدمة لمعالجة مجموعة الإشارات التي يتم استقبالها من قبل العناصر المكونة له [18]. من هذه الخوارزميات [19] نذكر ESPRIT، MUSIC، MVDR. تعتمد هذه الخوارزميات على واحدة أو أكثر من تقنيات تقدير المسافة المعتمدة على المدى.

تتميز الهوائيات الذكية بمجموعة من الخصائص التي تناسب الشبكات اللاسلكية:

1. القدرة على زيادة جودة الإشارة الراديوية وذلك عن طريق تحسين الانتشار الراديوي الذي يواجه مشكلتين أساسيتين [20] هما تعدد المسارات وتداخل القنوات.
2. زيادة الاستطاعة الوسطى للموجه وذلك بالاستعمال الجيد لعرض الحزمة.
3. كما تبين عملياً أن استخدام الهوائيات الذكية في الشبكات اللاسلكية يتيح زيادة سعة الشبكة ويخفض استهلاك الطاقة بشكل ملحوظ [21].

يستخدم في مجال الشبكات اللاسلكية بشكل عام نوعين من الهوائيات الذكية [22]:

##### 1 أنظمة الشعاع المتكيف أو أنظمة المصفوفة المتكيفة (Adaptive Array System):

تستخدم هذه الهوائيات خوارزميات معالجة إشارة معقدة لتمييز باستمرار بين الإشارات المرغوبة والإشارات الناتجة عن تعدد المسارات، والإشارات المتداخلة. وهي تقدم مستوى منخفضاً من التداخل مما يجعلها تعطي تغطية أفضل لمنطقة الشبكة.

##### 2 أنظمة الشعاع المتبدل (Switched Beam Antenna System):

يبدل النظام حزمته باتجاهات مختلفة وذلك بتغيير فروق الطور للإشارات المستقبلية والذي يتم عن طريق تغيير قيم التيارات المغذية لعناصر الهوائي.

مايهمنا عملياً في هذا البحث هو دراسة خوارزمية MUSIC، لذا سندرسها تالياً ونبين آلية عملها بالتفصيل.

##### 6. خوارزمية ميوزيك (Multiple Signal Classification) MUSIC:

تعد خوارزمية MUSIC [23] ذات بنية خاصة عالية الدقة، تستخدم على نطاق واسع من أجل إيجاد البارامترات المطلوبة أثناء عملية تحديد الاتجاه، أو في مسائل تحديد المصدر. هناك عدة أشكال محسنة للخوارزمية MUSIC مثل الخوارزمية Root.MUSIC والخوارزمية MUSIC ذات الحيز الإشعاعي. تحتاج هذه الخوارزميات إلى

الإشارات المأخوذة من عناصر نسق الهوائي لتشكيل مصفوفة ارتباط الإشارة، لذا لتطبيق هذه الخوارزمية فمن المفيد معرفة نمط التعديل. تنفذ الخوارزمية MUSIC بوجود شعاع إشارة مبني على أساس فترة زمنية واحدة، وشعاع توجيه معدل مرتكز على انزياح الطور في نمط الحزمة الإشعاعية.

تعتمد معظم خوارزميات AoA لتخمين الموقع على مصفوفة ارتباط الإشارة المعطاة بالمعادلة (5):

$$R_{ss} = E \{S(t)S^H(t)\}$$

$$R_{xx} = E \{X(t)X^H(t)\} \quad (5)$$

حيث:  $R_{xx}$ : مصفوفة الارتباط للإشارة المستقبلية.

$R_{ss}$ : مصفوفة الارتباط للإشارة المطلوبة.

$H$ : تشير إلى تحويل Hermitian للمصفوفة.

$E\{a\}$ : احتمالية القيمة.

إن لم تكن إحصائيات الإشارة والضجيج معروفة وكانت العمليات (المتراصة) المقابلة هي إشارة أرغودية ergodic (تسمى الإشارة المستقرة بأنها إشارة أرغودية إذا كان المتوسط الزمني (مجموع العينات على عددها) لأي من تحقيقات الظاهرة مساوياً للمتوسط الإحصائي (مجموع العينات مضروباً باحتمال حدوثها) على مجمل تحقيقات الظاهرة مقاساً عند أية لحظة من الزمن)، عندها يمكن أن نقارب مصفوفات الارتباط باستخدام المتوسط الحسابي لعدد محدود من المعطيات المرصودة وتصبح المعادلتين السابقتين كما في (6):

$$\hat{R}_{xx} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \bar{X}(t_L) \bar{X}^H(t_L)$$

$$\hat{R}_{ss} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \bar{S}(t_L) \bar{S}^H(t_L) \quad (6)$$

حيث:  $L$  عدد عينات الإشارة، وإن كلا من  $\hat{R}_{xx}$  و  $\hat{R}_{ss}$  هما مصفوفتان من المرتبة  $N * N$ ، وعند إضافة

الضجيج الأبيض الغاوسي يمكن كتابة مصفوفة الإشارة المستقبلية بالمعادلة (7):

$$\hat{R}_{xx} = A(\theta) \hat{R}_{ss} A^H(\theta) + \sigma_n^2 I \quad (7)$$

حيث:  $\sigma_n^2$ : تباين إشارة الضجيج.

$A(\theta)$ : مصفوفة الاستجابة للمصفوف الذي يحتوي على استجابة كل حساس لكل إشارة تحدث، وتعطى

بالمعادلة (8):

$$A(\theta) = [a(\theta_1) a(\theta_2) \dots \dots a(\theta_r)] \quad (8)$$

إن خوارزمية MUSIC هي الأكثر شيوعاً بين خوارزميات AoA المرتكزة على تحليل الفضاء الجزئي لمصفوفة الارتباط، تقدر خوارزميات AoA المطلوبة من خلال تحديد قمم الطيف الزائف لفضاء MUSIC (MUSIC spatial pseudospectrum) والتي تعطى بالمعادلة (9):

$$p_{MUSIC} = \frac{a^H(\theta) a(\theta)}{a^H(\theta) E_n E_n^H a(\theta)} \quad (9)$$

حيث:  $\hat{E} = [\hat{e}_1 \hat{e}_2 \dots \hat{e}_N]$  المتجه الذاتي الذي يمكن الحصول عليه عن طريق تحليل القيم الذاتية. يتم

ترتيب القيم الذاتية من الأكبر إلى الأصغر، عندها يمكن تقسيم مصفوفة القيم الذاتية إلى مصفوفتين فرعيتين:

$$E = [\hat{E}_s \hat{E}_n]$$

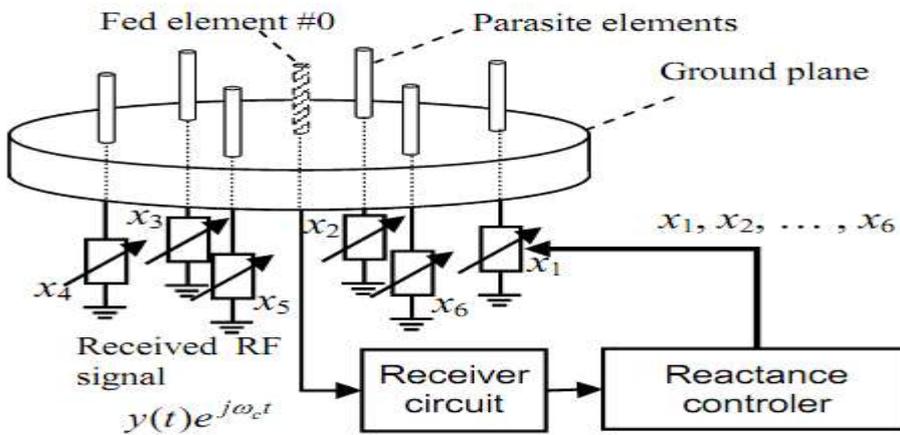
حيث  $\hat{E}_s$ : المتجهات الذاتية للإشارة، ولديها  $K$  عمود، وهي تتوافق مع الفضاء الجزئي للإشارة.

$\hat{E}_n$ : المتجهات الذاتية للضجيج ولديها  $N-K$  عمود، وهي تتوافق مع الفضاءات الجزئية للضجيج.

تعتمد خوارزمية ميوزيك في عملها على الهوائي ESPAR وعلى تقنية الوصول المتعدد بالتقسيم المكاني.

### 1.6 الهوائي Electronically Steerable Parasitic Array Radiation (ESPAR)

يبين الشكل (2) بنية نموذجية لنسق هوائي توجيهي خاضع للتحكم تفاعلياً، ويطلق عليه اسم نسق الهوائي المشع الموجه إلكترونياً ESPAR [24]. يتكون من عنصر مركزي فعال (أحادي القطب) محاط بعناصر مساعدة على شكل دائرة نصف قطرها R مثبتة على مستوي قاعدي أرضي دائري، إن الطول L لكل عنصر أحادي القطب ونصف القطر R يساويان ربع طول ال موجة  $\lambda$  للإشارة RF المرسله، يحول مستوى القاعدة العناصر الهوائية أحادية القطب مع صورها إلى ثنائيات قطب طولها 2L. يتصل عنصر الهوائي أحادي القطب المركزي مع مستقبل RF ويتم تحميل كل عنصر مساعد أحادي القطب بمفاعل قابل للضبط.



الشكل (2) بنية نموذجية لنسق هوائي توجيهي.

إن مبدأ عمل الهوائي ESPAR مختلف عن مبدأ عمل الهوائيات الأخرى، إذ يولد حزمة إشعاعية اتجاهية مرتكزة على مفاعلات تحميل قابلة للضبط  $(x_1, x_2, \dots, x_i)$  في العناصر المساعدة أحادية القطبية، حيث تحرض الإشارات المستقبلية أو المرسله عند البوابة RF المركزية العناصر أحادية القطبية، وينتج عنها تيارات تبادلية المتحرضة.

ويفرض وجود إشارات قادمة في المستوى السمتي يكون الدليل الأسّي k هو دليل مصادر الموجة، يعطى شعاع توجيه الهوائي بالمعادلة (10):

$$\alpha(\phi_k) = [1 \ e_1(\phi_k) \ e_2(\phi_k) \ e_3(\phi_k) \ e_4(\phi_k) \ e_5(\phi_k) \ e_6(\phi_k)] \quad (10)$$

حيث:  $\alpha(\phi_k)$ : شعاع التوجيه الموافق بجهة الإشارة وتعطى  $\phi_k$  وفقاً لهندسة الهوائي ESPAR.

$e_1(\phi_k)$ : تعطى بالعلاقة (11): [24]

$$\begin{aligned} e_1(\phi_k) &= \exp \left\{ j \frac{2\pi}{\lambda} R \cos \left( \phi_k - \frac{2\pi}{6} (i-1) \right) \right\} \\ &= \exp \left\{ j \frac{\pi}{2} R \cos \left( \phi_k - \frac{\pi}{3} (i-1) \right) \right\}; \text{ for } i = 1, \dots, 6 \quad (11) \end{aligned}$$

ويكون شعاع النسق  $\bar{\alpha}(\phi_k)$  للهوائي ESPAR كما في المعادلة (12):

$$\bar{\alpha}(\phi_k) = \alpha(\phi_k) E_1 \quad (12)$$

حيث تعطي المعادلة (14) قيمة E1:

$$E1 = (I_{(7)} + YX)^{-1} Yu_1 \quad (14)$$

وتعطي  $U_1$  بالمعادلة (13):

$$U_1 = [1000000]^T \quad (13)$$

وتعطي مصفوفة السماحيات المتبادلة Y بالمعادلة (15):

$$Y = \begin{bmatrix} y_{00} & y_{01} & y_{02} & y_{03} & y_{04} & y_{05} & y_{06} \\ y_{10} & y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} & y_{15} & y_{16} \\ y_{20} & y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} & y_{25} & y_{26} \\ y_{30} & y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} & y_{35} & y_{36} \\ y_{40} & y_{41} & y_{42} & y_{43} & y_{44} & y_{45} & y_{46} \\ y_{50} & y_{51} & y_{52} & y_{53} & y_{54} & y_{55} & y_{56} \\ y_{60} & y_{61} & y_{62} & y_{63} & y_{64} & y_{65} & y_{66} \end{bmatrix} \quad (15)$$

وحسب خواص بنية الهوائي، يمكن أن نكتب المعادلات (16):

$$\begin{aligned} y_{11} &= y_{22} = y_{33} = y_{44} = y_{55} = y_{66} \\ y_{01} &= y_{02} = y_{03} = y_{04} = y_{05} = y_{06} \\ y_{12} &= y_{13} = y_{14} = y_{15} = y_{16} \\ y_{23} &= y_{24} = y_{25} = y_{26} \\ y_{34} &= y_{35} = y_{36} \\ y_{45} &= y_{46} \\ y_{56} &= y_{56} \end{aligned} \quad (16)$$

وعندما يكون هناك أمواج مرتظمة عددها K، يتم تمثيل إشارات الخرج من البوابة RF كما في المعادلة (17):

$$X(t) = \sum_{k=1}^K \hat{\alpha}(\phi_k) s_k(t) + n(t) \quad (17)$$

حيث:  $S_k(t)$  أمواج تيار الحقل البعيد رقم k الآتية مع السعة والطور في المستوى السمّي.

$n(t)$  هي الضجيج الغوصي الأبيض المضاف (AWGN) مع طاقة  $\alpha^2$ .

$\hat{\alpha}(\phi_k)$  مرتبطة بالمصفوفة التفاعلية X.

يمكن تشكيل أنماط الحزمة الإشعاعية في الاتجاهات المرغوبة بوجود مخمدات في اتجاهات مسببات التداخل بضبط القيم التفاعلية. وعلى كل حال، تنتج الإشارة تبعاً لتغير زاوية إحداثيات مكان الهوائي Y - X ويتم تمثيل عينات

الإشارة المستقبلية عند كل فترة أخذ عينات #m وفقاً للمعادلة (18) كما يلي:

$$X_m(t) = \sum_{k=1}^K \left( \hat{\alpha}_k - \frac{2\pi}{m}(m-1) \right) s_k(t) + n_m(t) \quad (18)$$

ولدينا بغرض التبسيط المعادلة (19):

$$\hat{\alpha}_m(\phi_k) = \hat{\alpha} \left( \phi_k - \frac{2\pi}{m}(m-1) \right) \quad (19)$$

وتتضمن  $\hat{\alpha}_m(\phi_k)$  معلومات رقم  $k$  عن اتجاه مصدر الإشارة  $\phi_k$ ، وتكون  $\Pi_m(t)$  هي مكون الضجيج عند فترة أخذ العينة رقم  $m$ ، وبفرض أن كل مصدر إشارة مستقل بيث إشارات آنية، وأن طول فترة أخذ العينات هو بطول متساوي. إن عينات الإشارة المستقبلية هي ذاتها لكل فترات أخذ العينات، لذا يمكن كتابة شعاع الإشارة المستقبلية  $X(t)$  بعد ست فترات أخذ عينات على شكل معادلة مصفوفة مضاعفة (20):

$$X(t) = \begin{bmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ X_3(t) \\ X_4(t) \\ X_5(t) \\ X_6(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha}_1(\phi_1)\hat{\alpha}_1(\phi_2)\dots\dots\hat{\alpha}_1(\phi_k) \\ \hat{\alpha}_2(\phi_1)\hat{\alpha}_2(\phi_2)\dots\dots\hat{\alpha}_2(\phi_k) \\ \hat{\alpha}_3(\phi_1)\hat{\alpha}_3(\phi_2)\dots\dots\hat{\alpha}_3(\phi_k) \\ \hat{\alpha}_4(\phi_1)\hat{\alpha}_4(\phi_2)\dots\dots\hat{\alpha}_4(\phi_k) \\ \hat{\alpha}_5(\phi_1)\hat{\alpha}_5(\phi_2)\dots\dots\hat{\alpha}_5(\phi_k) \\ \hat{\alpha}_6(\phi_1)\hat{\alpha}_6(\phi_2)\dots\dots\hat{\alpha}_6(\phi_k) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S_1(t) \\ S_2(t) \\ S_3(t) \\ S_4(t) \\ S_5(t) \\ S_6(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ n_3(t) \\ n_4(t) \\ n_5(t) \\ n_6(t) \end{bmatrix} \quad (20)$$

إن المعادلة (20) هي نفسها خرج أي هوائي مكون من 6 عناصر، ندعو  $\hat{\alpha}(\phi_k)$  باسم «شعاع اتجاه ESPAR» وتكون مصفوفة ارتباط الإشارة عند خرج الهوائي هي  $R_{XX}$ .

## 2.6 تقنية الوصول المتعدد بالتقسيم المكاني (Space Division Multiple Access) SDMA:

تعد من بين أعقد التطبيقات المستخدمة في تقنية الهوائيات الذكية، بحيث تستخدم تقنيات معالجة متطورة لتحديد وتعقب أثر الأجهزة النقالة المتحركة أو الثابتة وذلك بتوجيه إشارات البث بشكل تكيفي تجاه المستخدمين وبعيداً عن التداخلات [25]. تستطيع هذه التقنية إنشاء العديد من المخططات الإشعاعية بنفس اللحظة ولعدة مصادر إشعاع، يمكن أن تصل الإشارة من مسارين مختلفين لمصدر واحد وبنفس التردد مع وجود اختلاف في الطور ناتج عن اختلاف في طول المسار، لذلك يتم تزويد الهوائي بـ  $N$  مشكل إشعاع فرعي. لكل مشكل إشعاع خوارزميته المتكيفة لتتحكم بمجموعة أوزانه (الزمن، والطور، والتردد، وفرق الصفحة). تقوم الخوارزمية المتكيفة بتشكيل الإشعاع بحيث تكون وريقة الإشعاع الرئيسية باتجاه الإشارة المرغوبة بينما يتم تخميد أو تصفير أي إشعاع بالاتجاهات الأخرى.

## المحاكاة وإظهار النتائج

### 1. بيئة المحاكاة Simulation Environment

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو نمذجة عقد الحساسات المستخدمة في تصميم الشبكة (Telos B)، واختبار فعالية استخدام خوارزمية MUSIC في تحديد زوايا ورود الإشارة اعتماداً على تقنيتي SDMA والهوائي ESPAR، والتي تستخدم في تحديد مواقع عقد الحساسات المستخدمة في الشبكة، أي اختبار فعالية الشبكة في كشف حدوث الحريق وتحديد مكانها. ننطلق في الدراسة من شبكة تحوي ثلاثة عقد منها عقدة معلومة الاحداثيات.

### 2. بارامترات المحاكاة Simulation Parameters

سندرس ضمن هذه الفقرة مجموعة البارامترات التي أخذناها بالحسبان خلال الدراسة [23].

#### 1.2 حساب خسارة المسار الحر:

تتعلق خسارة المسار بالمسافة التي تقطعها الإشارة في الفراغ، يمكن أن يعرف بأنه النسبة بين استطاعة الإشارة المرسله والمستقبله مقاسة بالديسبل db. وتعطى العلاقة التي تمكننا من حساب خسارة المسار كما في المعادلة (21):

$$L_s = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) = -20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 21.98 \text{ dB} \quad (21)$$

حيث:  $P_t$  : استطاعة الإرسال.

$P_r$ : استطاعة الاستقبال.

$d$ : طول المسار (المسافة بين المرسل والمستقبل).

$\lambda$ : طول الموجة المرسلة.

2.2.7 حساب ربح مصفوفة الهوائي:

يتعلق ربح الهوائي بعدد عناصر الهوائي  $N$  ويعطى بالمعادلة (22) :

$$G_{AR} = 10 \log(N) + G_{EL} \quad (22)$$

حيث:  $N$ : عدد عناصر الهوائي المصفوفي.

$G_{EL}$ : ربح كل عنصر مقاساً بـ dB.

3.2.7 نسبة الإشارة إلى الضجيج المرسلة:

تعطى نسبة الإشارة إلى الضجيج لإشارة استطاعتها  $P$  بالمعادلة (23):

$$SNR = 10 \log\left(\frac{P}{kTB}\right) \quad (23)$$

حيث:  $K$ : ثابت بولتزمان ويساوي  $1.38 * 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ k}^{-1}$

$T$ : درجة حرارة ضجيج النظام والتي تضم درجة حرارة ضجيج الهوائي والمستقبل (الكلفن).

$B$ : عرض الحزمة الفعالة لضجيج المستقبل.

4.2. نسبة الإشارة إلى الضجيج المستقبلية:

يمكن تعريفها بالعلاقة (24):

$$SNR_{AR} = SNR_{sc} - L_s - L_R + G_{AR} + G_T \quad (24)$$

حيث:  $SNR_{sc}$  : نسبة الإشارة إلى الضجيج المرسلة.

$L_s$ : خسارة الفضاء الحر مقدراً بـ dB.

$L_R$ : خسارة المسار بسبب الانعكاس مقدراً بـ dB.

$G_{AR}$  : ربح مصفوفة الهوائي مقدراً بـ dB.

$G_T$  : ربح هوائي الإرسال مقدراً بـ dB.

### 3. نتائج المحاكاة

سنفترض في دراستنا العملية أن وسط الانتشار مثالي، أي أن الإشارة المرسلة هي نفسها الإشارة المستقبلية.

صحيح أن الحالة ليست مثالية وموافقة للواقع لكن لسهولة الدراسة افترضنا ذلك على أن نستكمل الدراسة تالياً مع أخذ

شروط الوسط المحيط بالحسبان. تم تقسيم العمل إلى جزئين أساسيين: الأول يدرس فعالية خوارزمية MUSIC في

تقدير زاوية الورد للإشارة اعتماداً على تقنية SDMA، والثاني اعتماداً على الهوائي الذكي ESPAR.

#### 3-1 اعتماداً على تقنية SDMA:

التردد العامل للإشارة الجيبية المرسلة هو  $f=300 \text{ MHz}$ ، فيكون طول الموجة  $\lambda=1 \text{ m}$ ، عند تنفيذ البرنامج

نحصل على النتائج:

give the number of clusters-receivers:3;  $c=3$

give the number of sensors/cluster:6;  $N=6$

direction of arrival: [30 62 138]; DOA=30 62 138

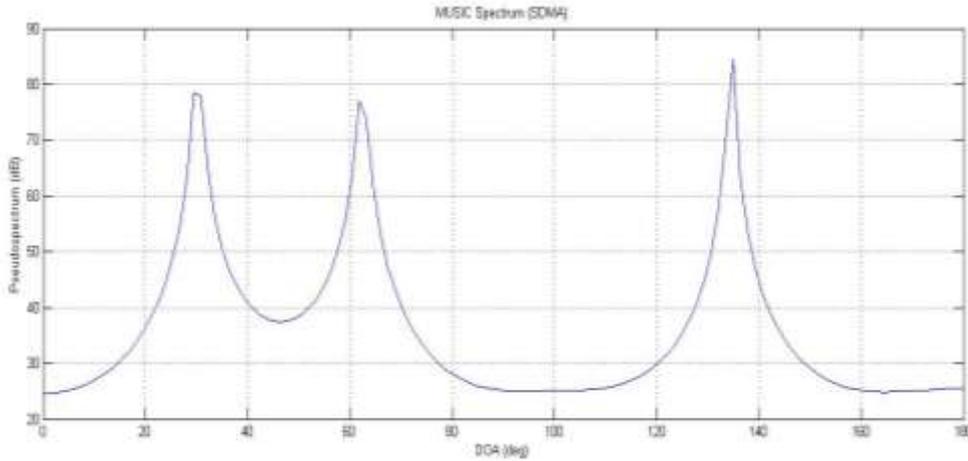
give the number of Monte carlo estimates:100; nruns =100

ونكون قيم نسبة الإشارة إلى الضجيج للإشارة الثالثة المستقبلية عند ربح للهوائي مقداره  $GA=9.7815$  dB عند قيمتين مختلفتين لنسبة الإشارة إلى الضجيج المرسل كما تظهر في الجدول ( 1-4) الذي يوضح أن نسبة الإشارة إلى الضجيج تزداد بزيادة SNR المرسل:

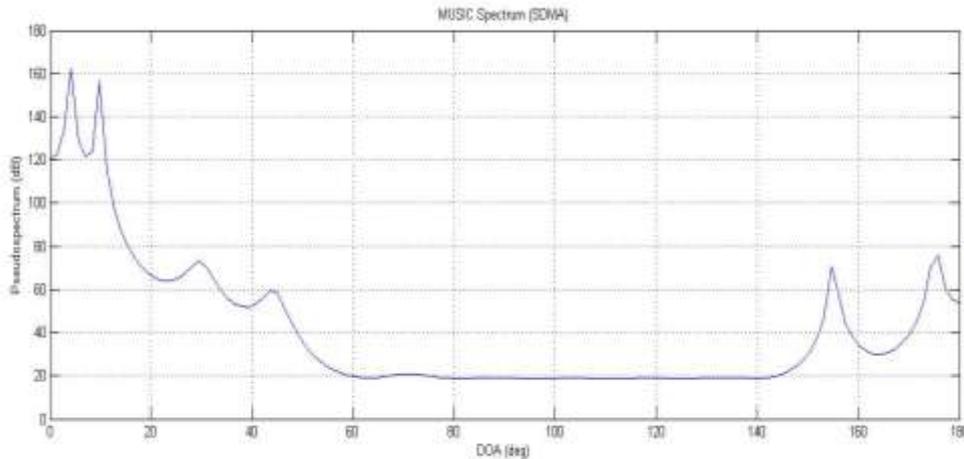
الجدول (1): يوضح قيم  $SNR_{AR}$  المستقبلية للإشارات الثلاث:

SNR [dB]	$SNR_{AR}$ [dB]		
117.8094	78.6070	80.8342	83.8826
127.8094	97.2342	89.8258	87.8906

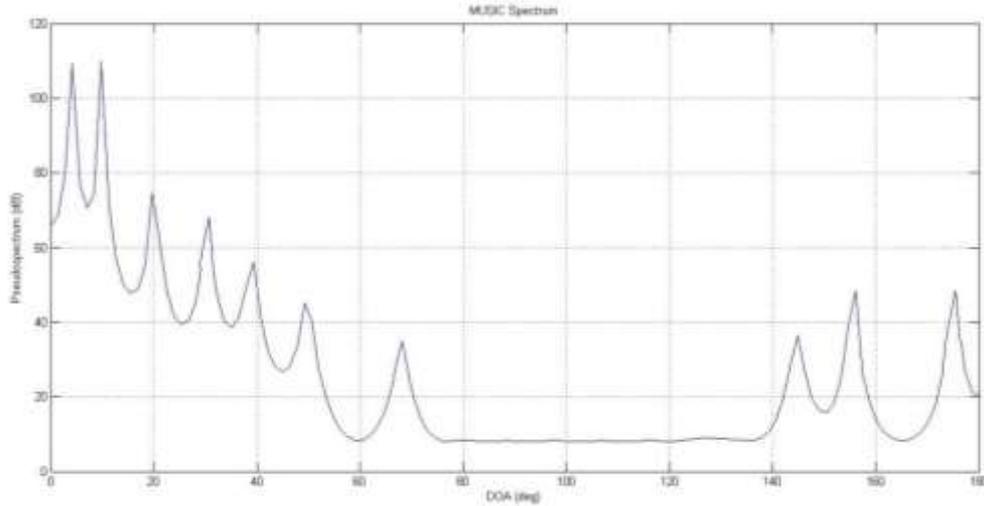
وتبين الأشكال (3 و4 و5) طيف الخوارزمية الذي يبين مدى تطابق قمم الطيف مع زوايا ورود الإشارة المدخلة بدقة عالية.



الشكل (3): طيف خوارزمية MUSIC باستخدام تقنية SDMA عند ورود ثلاثة إشارات من الزوايا [30 62 138] و  $SNR=117.8092$  dB.



الشكل(4): طيف الخوارزمية عند ورود ستة إشارات عند الزوايا [ 4 10 30 45 155 175 ]  $SNR=117.8092$  dB.



الشكل (5): طيف الخوارزمية عند ورود 10 إشارات عند الزوايا [4 10 20 30 40 50 68 145 155 175] SNR= 117.8092 dB.

تبين الأشكال الثلاثة السابقة مدى تطابق قمم الطيف مع زوايا ورود الإشارة المدخلة بدقة عالية وذلك عند اختبار فعالية استخدام خوارزمية MUSIC في تحديد زوايا ورود الإشارة اعتماداً على تقنية SDMA، وهو ما يساعد في تحديد مواقع عقد الحساسات المستخدمة في الشبكة، مما يجعلها مناسبة جداً لتطبيقات عدة مثل كشف حدوث الحريق وتحديد مكانه.

### 2-3 اعتماداً على الهوائي الذكي ESPAR:

سنفترض بأن التردد العامل هو  $F = 2.4 \text{ GHz}$ ، وكذلك الإشارة المرسله هي إشارة جيبيية. تم تعيين قيم السماحيات بالرجوع إلى قيم السماحيات التبادلية لعناصر الهوائي اعتماداً على NEC (Numerical Electromagnetic Code)، أما قيم المفاعلات فقد تم الاعتماد على الدراسة [22] التي توصلت إلى أن القيم الأفضل للمفاعلات هي التي تأخذ قيماً عشوائية ولذلك تم اعتماد القيم الآتية:

$$Xr = [50 \ 0 \ 30i \ 0 \ 30i \ 30i \ 30i]$$

$$U1 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

ويعطي البرنامج القيم الآتية عند تنفيذه:

$$\text{direction of arrival: } [30 \ 62 \ 138], \text{ DOA} = 30 \ 62 \ 138$$

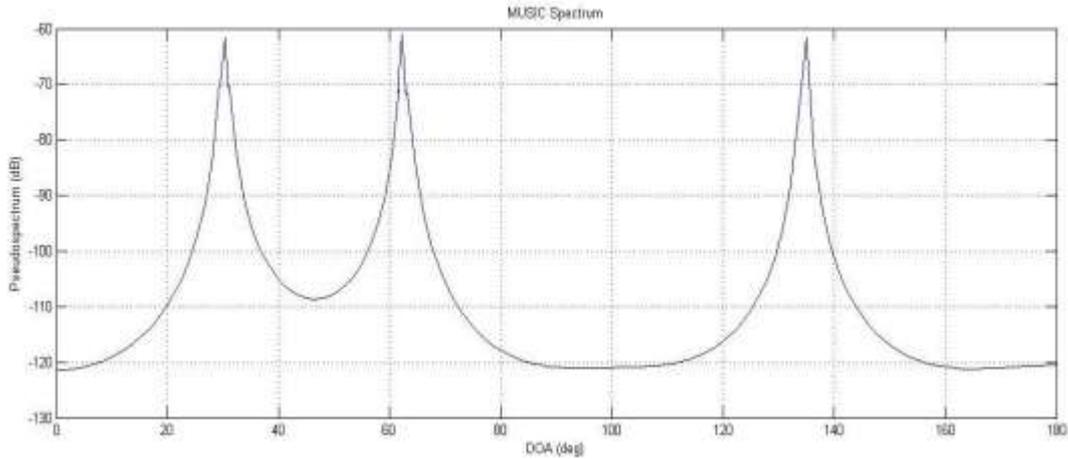
$$GA = 9.7815$$

ويوضح الجدول (2) نسب  $SNR_{AR}$  للإشارة المستقبلية عند قيمتين مختلفتين لنسبة SNR للإشارة المرسله.

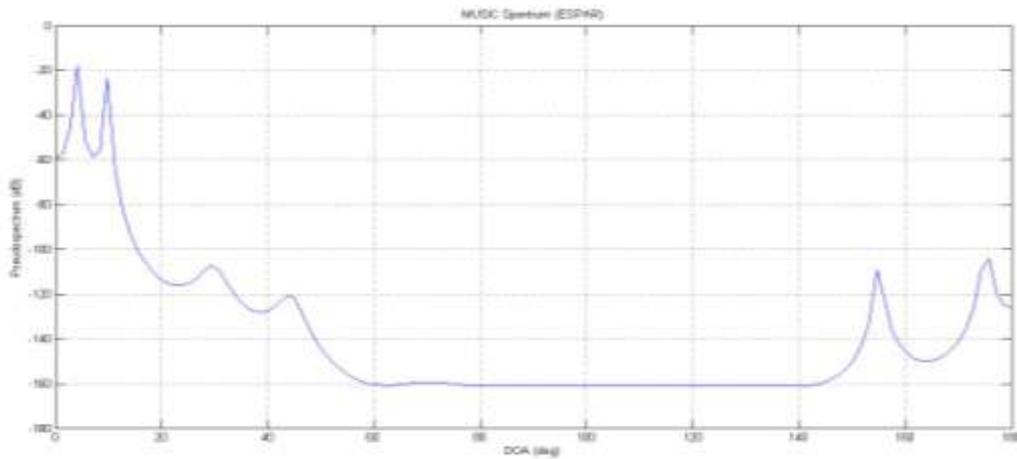
الجدول (2): قيم  $SNR_{AR}$  المستقبلية للإشارات الثلاث:

SNR [dB]	$SNR_{AR}$ [dB]		
20	-31.6532	-32.6664	-32.1668
30	-28.5433	-20.7279	-23.9672

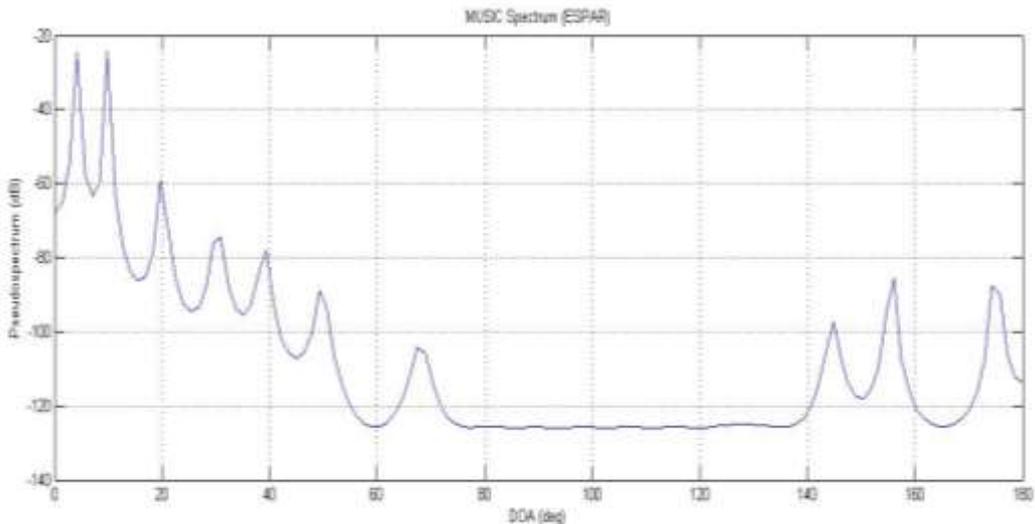
وتبين الأشكال 6 و7 و8 طيف الخوارزمية.



الشكل (6): طيف خوارزمية MUSIC باستخدام الهوائي ESPAR عند ورود ثلاثة إشارات من الزوايا [30 62 138] عند  $SNR=20$  dB.



الشكل (7): طيف الخوارزمية عند ورود 6 إشارات عند الزوايا [4 10 30 45 155 175] عند  $SNR=20$  dB.



الشكل (8): طيف الخوارزمية عند ورود 10 إشارات عند الزوايا [4 10 20 30 40 50 68 145 155 175] عند  $SNR=20$  dB.

تبين الأشكال السابقة أيضاً مدى تطابق قمم الطيف مع زوايا ورود الإشارة المدخلة بدقة عالية عند اختبار فعالية استخدام خوارزمية MUSIC اعتماداً على الهوائي الذكي ESPAR. لذا يمكن القول بأننا نستطيع نشر العقد في الشبكة بشكل عشوائي وهو ما يعد مناسباً للكثير من التطبيقات التي نحتاج فيها لنشر العقد في أماكن لا يمكن الوصول إليها، ومن ثم نطبق إحدى التقنيتين المدروستين أعلاه لتحديد موقع العقد بشكل دقيق، مما يساعد في تحديد موقع العقد بدقة عالية.

### الاستنتاجات والتوصيات

قمنا في هذا البحث بدراسة آليات تحديد الموقع غير المعتمدة على GPS والمستخدمة في شبكات الحساسات اللاسلكية، واختبار فعالية استخدام خوارزمية MUSIC في تحديد زوايا ورود الإشارة اعتماداً على تكنولوجيا SDMA وهوائي ESPAR. وقد وجدنا أن استخدام الهوائيات الذكية يتيح زيادة سعة شبكات الحساسات اللاسلكية وذلك بالتخفيض الفعال لمشكلة تعدد المسارات ومشكلة تداخل القناة، الأمر الذي يحسن في ربط الشبكة ويخفض استهلاك الطاقة ويزيد عمر الشبكة. وقد أظهرت نتائج المحاكاة على السيناريو المدروس أن استخدام تكنولوجيا الهوائيات الذكية يتيح القيام بتقدير دقيق لمواقع العقد دون الحاجة لمكونات إضافية في العقد كما هو الحال عند استخدام نظام تحديد المواقع العالمي.

### المراجع

- [1] D. Waltenege and P.Christian P., "Fundamentals Of Wireless Sensor Networks Theory And Practice". John Wiley & Sons Ltd, ISBN:978-0-470-99765-9, 2010.
- [2] G. Mao, B. Fidan, and B. Anderson. "Wireless Sensor Networks Localization Techniques". *Computer Networks*, 51(10). 2529-2553, 2007.
- [3] A. Mesmoudi , M. Feham, and N. Labraoui, "Wireless Sensor Networks Localization Algorithms: A Comprehensive Survey", *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)* Vol.5, No.6, November 2013.
- [4] Nisha Devi and Harpreet Kaur, "Localization Problem Solution Using K-Mean Clustering and Bacterial Foraging Optimization in Wireless Sensor Network", *International Journal of Computer Science Trends and Technology (IJCSST)*, 3(3): 38-43, May-June 2015.
- [5] <http://www.colorado.edu/oit/software-hardware/site-licenses/matlab>.
- [6] G. Mao and B. Fidan, " Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks". ACM Digital Library, ISBN:1605663964 9781605663968, 2009.
- [7] M. Bal, M. Liu, W.Shen and H. Ghenniwa, "Localization in Cooperative Wireless Sensor Networks: A Review". 13th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, (CSCWD 2009). Canada, April, 2009. Pages:438-443.
- [8] K.W. Cheung, H.C. So, W.K. Ma and Y.T. Chan, "Received Signal Strength Based Mobile Positioning via Constrained Weighted Least Squares," *Proc. of Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2003)*, vol. 5, 2003.
- [9] A. Boukerche, H.A. Oliveira, E.F. Nakamura, and A.F. Loureiro, "Localization Systems for Wireless Sensor Networks," *IEEE Wireless Communications: Wireless Sensor Networking*, pp. 6-12, 2007.

- [10] R. Peng and M. L. Sichitiu, "Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks," Proc. of IEEE Communications Society, Conf. on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, September 2006.
- [11] L. Hu, and D. Evans. "Localization for Mobile Sensor Networks". In Proc. of 10th International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2004), Philadelphia, USA. Pages: 45-47. 2004.
- [12] K. Langendoen, and N. Reijers, "Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison". Computer Networks 43: 499–518, 2003.
- [13] R. Dalce, T. Val, A. Bossche, "Comparison of Indoor Localization Systems Based on Wireless Communications", Wireless Engineering and Technology, 2, 240-256, 2011.
- [14] Y. Shang and W. Ruml. "Improved MDS-based localization". 23th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM 2004.
- [15] A. Youssf, A. Agrawala and M. Younis, "Accurate Anchor-Free Node Localization in Wireless Sensor Networks", 24th IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference, IPCCC 2005.
- [16] C. Bolin, Z. Zengwei, and A. Lsiwsn, "New Range-free Localization Algorithm for Large Scale Wireless Sensor Network". International Conference on Business Computing and Global Informatization, 2011.
- [17] J. S. Blogh and L. Hanzo, "Third-Generation Systems and Intelligent Wireless Networking: Smart Antennas and Adaptive Modulation". Halsted Press, 2002.
- [18] A. M. Khedr and W. Osamy, "A topology discovery algorithm for sensor network using smart antennas," *Computer Communications*, vol. 29, pp. 2261-8, 2006.
- [19] H. L. Van Trees, *Optimum Array Processing (Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part IV)*. New York: Wiley Interscience, 2002.
- [20] T. Dimitriou and A. Kalis, "Efficient delivery of information in sensor networks using smart antennas," 1st International Workshop on Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks, Finland, 2004, pp. 109-22.
- [21] D. Leang and A. Kalis, "Smart SensorDVB: sensor network development boards with smart antennas," International Conference on Communications, Circuits and Systems, ICCAS 2004. Chengdu, China, 2004, pp. 1476-80.
- [22] R. Kawitkar and D. Wakde, "Advances in Smart Antenna System", Journal of Scientific & Industrial Research, vol. 64, PP: 660-665, September 2005.
- [23] A. R. Kulaib, R. M. Shubair, M. A. Al-Qutayri, and Jason W. P. Ng." An Accurate Localization Technique for Wireless Sensor Networks Using MUSIC Algorithm". JOURNAL OF COMMUNICATIONS, 7(4): 21-289, APRIL 2012
- [24] Sun. Chen and Karmakar C. Nemaï," Fast Beamforming of Electronically Steerable Parasitic Array Radiator Antennas: Theory and Experiment". IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 52(7):1819-1832, July 2004.
- [25] C. Elam, "Method and Apparatus for Space Division Multiple Access Receiver," Patent No. 6,823,021, Rights assigned to Greenwich Technology Associates, One Soundview Way, Darien, CT. November 23, 2004.